M
14418

22102359728

Digitized by the Internet Archive
in 2015

https://archive.org/details/b21782763

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Henri BECQUEREL,

DOCTEUR ÈS SCIENCES,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES,

PROFESSEUR SUPPLÉANT AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS, ETC.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1889

28572
WELLCOME HISTORICAL MEDICAL LIBRARY

15112 Paris. — Impr. GAUTHIER-VILLARS ET FILS, quai des Grands-Augustins, 55.

WELLCOME INSTITUTE LIBRARY
Coll. we[illegible]mec
Call No. Gen Coll
M
14418

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

AVANT-PROPOS 5

ÉLECTRO-OPTIQUE.

1-2-3. Recherches expérimentales sur la polarisation rotatoire magnétique 17
4. Rotations magnétiques des plans de polarisation des rayons lumineux de diverses longueurs d'onde 21
5. Recherches expérimentales sur la polarisation rotatoire magnétique dans les gaz 21
6. Propagation de la lumière polarisée circulairement dans les corps soumis à l'influence du magnétisme 23
7. Rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence du magnétisme terrestre. 24
8. Mesure du pouvoir rotatoire magnétique des corps en unités absolues 25
9. Considérations théoriques sur la polarisation rotatoire magnétique 26

OPTIQUE.

10. Mémoire sur la polarisation atmosphérique et l'influence du magnétisme terrestre sur l'atmosphère 29
11. Détermination des indices de réfraction de diverses substances 32
12. Nouvelle méthode d'amplification des déplacements du plan de polarisation de la lumière. 33
13. Phosphorographie de la région infra-rouge du spectre solaire 34
14. Spectres d'absorption infra-rouges de diverses substances 34
15. Détermination des longueurs d'onde des raies et bandes principales du spectre solaire infra-rouge 34
16-17. Spectres d'émission infra-rouges des vapeurs métalliques 35
18. Phénomènes de phosphorescence divers sous l'influence des radiations infra-rouges 38
19. Relations entre l'absorption de la lumière et l'émission de la phosphorescence dans les composés d'uranium 39
20. Sur les variations des spectres d'absorption et des spectres d'émission par phosphorescence d'un même corps 41
21. Sur les variations des spectres d'absorption dans les milieux non isotropes 41
22. Sur les lois de l'absorption de la lumière dans les cristaux et sur une méthode nouvelle permettant de distinguer dans un cristal certaines bandes d'absorption appartenant à des corps différents 41
23. Absorption de la lumière au travers des cristaux 41
24. Sur le polychroïsme communiqué à certains cristaux par des matières colorantes 47
25. Sur les variations des spectres d'absorption du didyme 48
26. Sur les variations des spectres d'absorption des composés du didyme 49
27. Sur les spectres d'absorption de l'épidote 50
28. Sur les lois de l'absorption de la lumière dans les cristaux 51

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME.

Pages.

29. Rupture d'un courant près des pôles d'un aimant 53
30. Nouvelle méthode pour mesurer l'intensité d'un courant électrique en unités absolues.. 53
31. Mémoire sur les propriétés magnétiques développées par influence dans divers échantillons de nickel et de cobalt, comparées à celles du fer 54
32. Recherches sur le magnétisme spécifique de l'ozone 56
33. Sur les propriétés magnétiques du fer nickelé de Sainte-Catherine (Brésil) 56

MÉTÉOROLOGIE.

Mémoires publiés en commun avec M. Ed. Becquerel.

34-42. Mémoires sur la température de l'air à la surface du sol et de la terre jusqu'à 36m de profondeur (1877-1888) 58
43. Sur le froid de décembre 1879 et son influence sur un sol couvert de neige 59

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Henri BECQUEREL,

DOCTEUR ÈS SCIENCES,
INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES,
PROFESSEUR SUPPLÉANT AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS, ETC.

AVANT-PROPOS.

Les travaux de M. Henri Becquerel ont porté sur diverses questions relatives à l'Électricité, au Magnétisme, à l'Optique et à la Météorologie.

On trouvera plus loin la liste des Mémoires publiés jusqu'ici par cet Auteur.

Le court avant-propos qui précède cette énumération a pour objet de montrer comment une partie de ces travaux se rattache au développement progressif d'un même ordre d'idées, suivies dans leurs diverses conséquences. L'étude des phénomènes électro-optiques, celle des radiations invisibles infra-rouges et de l'absorption de la lumière, ont notamment été l'occasion de longues séries de recherches.

RECHERCHES ÉLECTRO-OPTIQUES.

Les phénomènes électriques sont, très probablement, la manifestation d'un mode de mouvement offrant plusieurs points communs avec le mouvement vibratoire qui est la cause des phénomènes lumineux. Jusqu'ici nous

n'avons aucune idée des mouvements qui donnent naissance à l'électricité, tandis que les vibrations qui constituent les ondes lumineuses sont beaucoup mieux connues.

Faraday, observant qu'un corps transparent soumis à l'influence magnétique fait tourner le plan de polarisation de la lumière, vint établir entre l'électromagnétisme et l'optique un lien aussi important qu'inattendu. En montrant que le magnétisme modifie les conditions de la propagation des ondes lumineuses, il ouvrait une voie nouvelle pour rechercher la nature des manifestations électromagnétiques.

Après la découverte de Faraday, divers physiciens avaient établi plusieurs lois du phénomène, notamment la rotation inégale des plans de polarisation des rayons de diverses couleurs, en raison inverse du carré de leur longueur d'onde (Ed. Becquerel); la proportionnalité de la rotation à l'intensité électromagnétique (G. Wiedemann); la rotation inverse produite par certaines substances magnétiques (Verdet). On devait se demander si la grandeur de la rotation n'était pas liée aux propriétés optiques des corps, et, en particulier, à la grandeur de leur indice de réfraction; des observations insuffisantes avaient conduit à nier une relation de ce genre, lorsque l'Auteur entreprit d'étudier cette question.

En choisissant les substances soumises à l'expérience, principalement parmi celles qui ont les plus grands indices de réfraction, et en classant méthodiquement les résultats observés, il mit en évidence l'existence d'une relation fondamentale entre le pouvoir rotatoire magnétique des corps et une fonction très simple de leur indice de réfraction.

Pour les corps d'une même famille chimique, la loi se vérifie très exactement; mais, avec des substances appartenant à des familles chimiques différentes, on observe des écarts qui, sans infirmer la règle générale, paraissent révéler une influence magnétique de la part des molécules de ces substances.

Ce premier travail montrait que le phénomène électro-optique était lié, d'une part, à la vitesse de propagation des ondes lumineuses et, d'autre part, à une action magnétique intermoléculaire, dont le rôle serait très important à préciser.

Il était à présumer que cette influence moléculaire se manifesterait principalement avec les substances très magnétiques qui ont la curieuse propriété de faire tourner le plan de polarisation de la lumière en sens inverse des autres substances. L'Auteur, après avoir analysé les diverses conditions dans lesquelles on observe des rotations inverses, dites *négatives*, montra

que le renversement était dû à une influence magnétique prépondérante des molécules des corps. Il détermina les lois que suivent ces rotations négatives, lois qui sont entièrement différentes de celles des rotations *positives* et ne se rattachent à aucune des théories proposées jusqu'ici pour expliquer les phénomènes de la polarisation rotatoire; une hypothèse simple, développée par l'Auteur, permet de rendre compte des différences essentielles que présentent les rotations positives et négatives, en assignant un rôle particulier à l'influence du magnétisme développé dans les molécules des corps.

Les effets dont nous venons de parler sont relatifs aux solides et aux liquides transparents, et jusqu'à cette époque le phénomène découvert par Faraday paraissait échapper à toute mesure avec les corps gazeux. L'incertitude où l'on était sur l'ordre de grandeur de l'effet à observer avait été la cause d'insuccès dans les tentatives de divers physiciens.

L'Auteur, en s'appuyant sur ses premières recherches, fut conduit à penser que la relation entre la rotation magnétique et l'indice de réfraction, qu'il avait déterminée, devait subsister à l'état gazeux et permettait de prévoir la valeur de la rotation à observer pour divers gaz. Il fit alors construire un appareil destiné à mesurer avec précision de petites rotations, et amplifiant suffisamment le phénomène prévu pour le rendre facilement observable.

Le résultat répondit à son attente; l'appareil permit de manifester, pour la première fois, et de mesurer le pouvoir rotatoire magnétique des gaz, à la température et à la pression ordinaires, et de rapporter à la même unité que les mesures sur les solides et les liquides des rotations qui atteignent seulement quelques dix-millièmes de celle de l'eau. L'Auteur reconnut que les corps gazeux jouissent des mêmes propriétés électro-optiques que les corps solides et liquides, et qu'ils dévient, suivant la même loi, les plans de polarisation des rayons de diverses couleurs. L'oxygène a présenté une anomalie intéressante en raison de ses propriétés magnétiques exceptionnelles.

Il convient de citer, au cours de ces recherches, la réalisation d'une expérience délicate, montrant que le phénomène découvert par Faraday correspond à la propagation inégale de deux rayons polarisés circulairement en sens inverse, et suit la théorie que Fresnel a donnée pour la polarisation rotatoire naturelle.

On vient de voir que tous les corps, sous l'influence d'un aimant, font tourner le plan de polarisation de la lumière. L'*influence magnétique de la Terre* doit produire le même effet sur tous les corps solides, liquides et gazeux, et en particulier sur l'atmosphère qui l'entoure.

L'Auteur s'est proposé d'étudier ce grand phénomène naturel, de mettre en évidence et de mesurer l'action du magnétisme terrestre sur une masse liquide, puis de chercher une manifestation de cette action sur l'atmosphère.

Dans une première série d'expériences il a montré qu'en faisant traverser une masse liquide par un rayon lumineux polarisé, orienté parallèlement au méridien magnétique, puis en retournant bout pour bout tout l'appareil, y compris la source de lumière, on observait une rotation du plan de polarisation de ce rayon ; l'angle entre les plans de polarisation qui correspondent aux deux positions de l'appareil mesure le double de la rotation due à l'action magnétique continue de la Terre.

L'Auteur a mesuré alors avec grand soin la rotation obtenue sous l'action terrestre au travers d'une épaisseur connue de sulfure de carbone liquide, dans des conditions où la double rotation observée peut atteindre $\frac{1}{2}$ degré.

On peut obtenir la valeur absolue du pouvoir rotatoire magnétique d'un corps par une méthode indiquée plus loin ; l'expérience qui vient d'être décrite permet alors de déterminer, par une simple mesure optique, l'intensité absolue du magnétisme terrestre.

En cherchant à mettre en évidence l'influence magnétique de la Terre sur l'atmosphère, l'Auteur eut l'idée d'étudier à un point de vue nouveau la polarisation de l'atmosphère qui, en nous renvoyant la lumière du Soleil, constitue un polariseur naturel pour lequel il semblait que l'on connût d'avance la direction théorique du plan de polarisation. On sait, en effet, que si la lumière solaire nous arrivait d'un point de l'atmosphère après une seule réflexion, ou une seule réfraction, le plan de polarisation devrait, soit coïncider à chaque instant avec le plan qui passe par ce point, par l'œil et par le centre du Soleil, soit être perpendiculaire à ce plan. Afin de reconnaître si, en chaque point de l'atmosphère, le plan de polarisation s'écarte plus ou moins du plan théorique que nous venons de définir, l'Auteur imagina un appareil permettant de déterminer à chaque instant la trace de ces deux plans sur un même cercle divisé normal à leur intersection. La connaissance du pouvoir rotatoire magnétique de l'air en unités absolues permet d'évaluer à 25′ environ la rotation du plan de polarisation

de radiations correspondant à la région moyenne du spectre lumineux et ayant traversé horizontalement 150^{km} d'air dans la direction du méridien magnétique. On pouvait penser trouver des angles de cet ordre de grandeur.

L'observation indiqua un résultat inattendu ; les deux plans faisaient entre eux un angle variable à chaque instant, et atteignant parfois plusieurs degrés. Lorsque le ciel est pur, cet angle, différent pour les diverses régions de l'atmosphère, varie régulièrement pour un même point du ciel, dans le cours d'une même journée, présentant généralement deux maxima de part et d'autre du plan vertical passant par le point visé.

L'Auteur se trouvait en présence d'un phénomène diurne jusque-là inaperçu, et qui masquait l'action magnétique primitivement cherchée. Il étudia ce phénomène et montra qu'il résultait des conditions variables de l'illumination de l'atmosphère lorsque le Soleil s'élève ou s'abaisse sur l'horizon. Il reconnut, en outre, dans la marche régulière de la variation du plan de polarisation, une petite déviation, toujours de même sens par rapport à la Terre et indépendante du sens de l'orientation de l'appareil. Cette perturbation, que des expériences de contrôle ne permettent pas d'attribuer à des erreurs d'observation, ou de réglage de l'appareil, se produit dans le sens qui correspond à l'influence magnétique de la Terre; l'ordre de grandeur correspond aux prévisions exposées plus haut, de sorte que l'Auteur a pensé qu'on pouvait l'attribuer à l'influence du magnétisme terrestre sur l'atmosphère, sans qu'on puisse préciser autre chose que l'ordre de grandeur et le sens du phénomène.

A l'occasion des discussions auxquelles ont donné lieu les réunions de la Conférence internationale pour la détermination des unités électriques (1882-1884), l'Auteur, qui était membre et secrétaire de la Conférence, proposa d'appliquer à la mesure absolue des courants électriques l'observation de la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence électromagnétique d'une bobine, dans des conditions où cette rotation est indépendante du diamètre de cette bobine et ne dépend alors que du nombre de tours du fil de la bobine et de l'intensité du courant électrique qui la traverse.

Cette nouvelle méthode, purement optique, fournit un étalon très pratique pour mesurer avec une grande précision l'intensité absolue des courants électriques; elle exige seulement que l'on connaisse exactement en unités absolues le pouvoir rotatoire magnétique d'un corps servant de type.

Afin de donner à cette méthode toute la précision qu'elle comporte, l'Au-

teur entreprit la détermination absolue du pouvoir rotatoire magnétique du sulfure de carbone au moyen d'un courant électrique d'intensité déterminée passant dans une bobine dont le nombre de tours est exactement connu. En combinant le nombre obtenu avec les résultats qui se déduisent de l'ensemble des recherches qui viennent d'être analysées, on peut évaluer la grandeur des phénomènes électro-optiques au moyen des unités fondamentales de la Mécanique.

ÉTUDE DES RADIATIONS INVISIBLES INFRA-ROUGES.

On sait qu'en dehors de la région lumineuse du spectre il existe des radiations invisibles, les unes au delà du violet, les autres en deçà du rouge. Ces dernières sont souvent appelées *radiations calorifiques,* en raison des phénomènes thermiques auxquels elles donnent naissance.

Lorsque ces radiations infra-rouges tombent sur une substance phosphorescente préalablement rendue lumineuse, elles éteignent la phosphorescence.

M. Edm. Becquerel, qui a découvert ce phénomène, l'avait appliqué à l'étude de la région infra-rouge du spectre solaire. L'Auteur, en répétant cette expérience, a observé que l'extinction de la phosphorescence est précédée d'une excitation temporaire qui, pour certaines substances, révèle avec beaucoup d'éclat la présence des radiations invisibles et dessine avec une grande netteté tous les détails des spectres infra-rouges.

Mettant à profit cette propriété, l'Auteur a décrit la région infra-rouge, encore peu connue, du spectre solaire, qui présente de nombreuses raies et bandes dont il détermina les longueurs d'onde. Il étudia ensuite les spectres d'absorption infra-rouges de diverses substances dont un grand nombre offre, pour ces radiations invisibles, des bandes d'absorption caractéristiques.

En projetant sur une surface phosphorescente convenablement préparée les spectres discontinus des vapeurs métalliques incandescentes, l'Auteur a découvert dans la région infra-rouge la présence de radiations actives, révélées par une série de bandes et lignes phosphorescentes, sur lesquelles on n'avait jusqu'ici aucune donnée, et qui figurent une continuation des spectres à lignes brillantes des vapeurs métalliques. Il a pu ainsi observer pour la première fois les spectres invisibles de diverses vapeurs métalliques incandescentes, et déterminer les longueurs d'onde des principales raies d'émission. Les longueurs d'onde de ces radiations sont considérables; elles

atteignent le double de celles des rayons rouges, le quadruple de celles des rayons violets.

Cette méthode nouvelle, qui a l'avantage de mettre sous les yeux une image d'ensemble des spectres infra-rouges, a permis, comme on le voit, d'obtenir un résultat que n'avaient pu donner les effets thermiques ou chimiques au moyen desquels on peut étudier, dans certaines conditions, les rayons infra-rouges. Elle ouvre à l'analyse spectrale un champ d'observation nouveau, qui à lui seul comprend un intervalle de longueurs d'onde plus étendu que l'ensemble de la région lumineuse et de la partie ultra-violette.

Outre l'intérêt qu'il peut y avoir à signaler dans les spectres des vapeurs métalliques l'existence de ces radiations à grandes longueurs d'onde, ces recherches sont de nature à donner des renseignements précieux sur les lois encore inconnues qui régissent les mouvements vibratoires des vapeurs incandescentes.

Le phénomène physique sur lequel est fondée la méthode d'observation dont il vient d'être question a été l'objet d'une étude particulière que l'Auteur poursuit actuellement, et qui l'a conduit jusqu'ici aux résultats suivants :

L'extinction de la phosphorescence sous l'influence des radiations infra-rouges est un effet semblable à celui que produit une élévation de température de la substance phosphorescente; celle-ci émet alors en un temps plus court et avec plus d'éclat la somme de lumière qu'elle rendrait en un temps plus long si elle était soustraite à l'influence de ces radiations. Pour certaines substances, l'émission lumineuse est activée temporairement par des radiations déterminées à l'exclusion des radiations voisines, de sorte que ces substances présentent dans le spectre infra-rouge des maxima et des minima d'extinction; ces maxima correspondent à des rayons dont les longueurs d'onde paraissent avoir une certaine relation avec celles des rayons qui, à l'autre extrémité du spectre, excitent la phosphorescence; l'ensemble de ces radiations actives constitue en effet le spectre d'absorption de la substance.

Plusieurs substances phosphorescentes, pendant la période d'excitation qui précède l'extinction, émettent, sous l'influence des rayons infra-rouges de longueurs d'onde diverses, des lueurs de teintes diverses, différentes de celles qui correspondent à leur phosphorescence à la température ordinaire.

Un abaissement de température d'un corps phosphorescent à longue persistance arrête l'émission lumineuse; mais, dans ces conditions, le corps

conserve pendant très longtemps la faculté de devenir lumineux lorsqu'il est porté de nouveau à la température initiale.

Les faits précédents ont leurs analogues dans les phénomènes d'excitation produits par les rayons violets et ultra-violets; ils se rattachent aux transformations des mouvements vibratoires intermoléculaires des corps et ne sauraient être expliqués dans l'état actuel de la Science. Ces études pourront peut-être nous renseigner sur la manière dont l'énergie des radiations excitatrices est absorbée par les corps, pour être rendue en partie sous forme de lueurs phosphorescentes.

RECHERCHES SUR L'ABSORPTION DE LA LUMIÈRE.

En poursuivant ses recherches sur les phénomènes intermoléculaires, l'Auteur a été conduit à étudier l'absorption élective de la lumière par divers corps. De longues séries d'observations ont donné des résultats nouveaux et importants, non seulement par leur portée théorique, mais encore par leurs applications immédiates.

L'Auteur a d'abord étudié l'absorption de la lumière par les composés d'uranium qui, au point de vue de la phosphorescence et de l'absorption, présentent une constitution moléculaire particulièrement remarquable. Les spectres d'émission par phosphorescence et les spectres d'absorption des composés uraniques présentent une série de bandes, lumineuses dans les premiers, obscures dans les seconds, distribuées suivant les mêmes lois, d'une part dans la région lumineuse, et d'autre part dans la région bleue et violette. Les vibrations lumineuses qui correspondent à ces bandes sont telles que, d'une bande à l'autre, la différence du nombre des vibrations lumineuses pendant l'unité de temps soit sensiblement constante, de sorte que les vibrations émises par phosphorescence paraissent être des harmoniques inférieures des radiations excitatrices. Les composés uraneux ne sont pas phosphorescents; ils n'absorbent pas les rayons bleus et violets, mais ils présentent dans la région la plus lumineuse et dans l'infra-rouge des bandes observées pour la première fois par l'Auteur, et dont la loi de répartition paraît la même que pour les spectres d'émission des composés uraniques.

En examinant les spectres d'absorption de divers cristaux remarquables par leur phosphorescence : la strontianite d'Écosse, la leucophane, l'Auteur observa dans le spectre des raies fines qui disparaissaient pour certaines directions des vibrations lumineuses traversant le cristal. Ces raies ap-

partenaient au didyme, dont la présence se trouvait incidemment signalée dans ces minéraux. L'Auteur rapprocha l'observation de la disparition des bandes d'une observation semblable faite, au travers du sulfate de didyme, par Bunsen, en 1866, et qui avait été jusque-là considérée comme une manifestation curieuse et isolée du polychroïsme. Il établit aussitôt la généralité du phénomène dans tous les cristaux biréfringents qui donnent des bandes d'absorption. Dans ces cristaux, le spectre d'absorption est variable avec la direction des vibrations lumineuses qui les traversent. L'Auteur donna les lois de ces variations, qui peuvent se résumer comme il suit :

A chaque bande d'absorption correspondent, dans un cristal biaxe, trois directions rectangulaires de symétrie; quand les vibrations lumineuses traversant le cristal coïncident avec l'une de ces *directions principales d'absorption,* l'absorption est maximum; elle a une intensité moyenne pour une autre des directions principales, et quand la vibration lumineuse est dirigée suivant la troisième direction, la bande disparaît généralement.

Dans les cristaux uniaxes, les variations sont plus simples, et sont les mêmes pour toute direction normale à l'axe, qui est lui-même une direction principale.

Dans les cristaux orthorhombiques, où tous les phénomènes moléculaires sont symétriques par rapport aux trois mêmes directions rectangulaires, les trois directions principales d'absorption de toutes les bandes coïncident avec les axes communs d'élasticité optique.

Avec les cristaux clinorhombiques, qui ont seulement un axe binaire de symétrie et un plan de symétrie, le phénomène est plus complexe. L'axe de symétrie est toujours une direction principale d'absorption commune à toutes les bandes; mais les deux autres directions principales rectangulaires des diverses bandes peuvent être diversement orientées dans le plan de symétrie. Les unes s'écartent peu des axes d'élasticité optique du cristal, les autres font avec ceux-ci des angles quelconques. Ces dernières ont été appelées par l'Auteur *directions principales anomales.*

L'observation de ces directions anomales est un des résultats les plus importants de ces recherches. On sait en effet que, dans un mélange de substances isomorphes optiquement différentes, chaque molécule transporte avec elle ses propriétés optiques particulières, et que les axes d'élasticité du cristal composé ne sont que les directions de symétrie de l'effet résultant exercé par toutes les molécules sur la propagation des ondes lumineuses.

Il n'en est pas ainsi pour l'absorption. Lorsqu'une molécule absorbe une région du spectre, l'absorption est indépendante de l'action des molécules voisines : tout se passe comme si la molécule absorbante était seule, et les directions principales d'absorption doivent être, par rapport aux directions géométriques du cristal, les mêmes que si la matière absorbante était cristallisée isolément. Deux bandes du même cristal qui n'ont pas les mêmes directions principales d'absorption doivent donc appartenir à des substances différentes engagées dans le cristal. En outre, comme, chaque fois que la symétrie impose des orientations communes aux axes d'élasticité optique des molécules composantes, les directions principales d'absorption coïncident avec ces axes, on peut admettre que cette coïncidence existe toujours dans chaque molécule, et que dans un cristal complexe les directions principales d'absorption anomales sont aussi les directions principales d'élasticité optique de la molécule absorbante.

Les sels de didyme cristallisés permettent de vérifier les déductions précédentes de la manière la plus complète. On sait en effet que, récemment, on a pu séparer le didyme en deux groupes de matières, le néodyme et le praséodyme. Dans le sulfate ou les azotates, ces deux groupes ont des directions principales d'absorption très différentes, qui les auraient fait découvrir immédiatement si, sur ce point, la méthode chimique n'avait pas devancé la méthode présente. Le praséodyme se compose lui-même de trois bandes principales que leurs directions anomales d'absorption permettent d'attribuer à trois matières différentes. Les méthodes de séparation chimiques sont venues depuis contrôler cette déduction.

En étendant ces considérations à toutes les bandes d'absorption du didyme, on reconnaît la présence d'un grand nombre de matières; mais toutes ces matières ne sont pas des corps simples distincts; les divers composés d'un même corps se comportent chacun comme une substance différente. L'Auteur a mis ces faits nettement en évidence, en comparant aux spectres d'absorption des sels de didyme cristallisés les spectres d'absorption de la dissolution dans l'eau des mêmes sels. La plupart des bandes éprouvent dans la dissolution des déplacements individuels, indépendants de ceux des bandes voisines, et l'étude de ces déplacements conduit aux mêmes conclusions que l'observation des directions anomales d'absorption; en outre, la disparition de certaines bandes dans les dissolutions montre que ces bandes appartenaient à des composés qui ont été détruits et transformés par l'eau.

Enfin les produits obtenus en chassant par des calcinations progressives,

d'abord l'eau, puis une partie, puis la totalité de l'acide de divers sels de didyme, ont donné des spectres entièrement nouveaux, dont l'étude a conduit à une nouvelle confirmation des résultats précédents.

Ces résultats, relatifs à l'absorption au travers des cristaux, ne sont pas, du reste, particuliers au didyme, et l'on en a vérifié la généralité sur divers cristaux artificiels et naturels contenant soit de l'uranium, soit d'autres matières.

L'étude des variations qualitatives des spectres d'absorption montre que tout se passe comme si, à l'intérieur de chaque molécule absorbante, toute vibration lumineuse qui paraît se propager en restant parallèle à son orientation primitive se décomposait en trois composantes dirigées suivant les trois directions principales d'absorption et se combinait ensuite pour donner lieu à une vibration parallèle à la vibration incidente. Cette conception conduit à représenter les intensités observées au travers de l'unité d'épaisseur d'un même cristal par une formule simple que paraissent justifier les mesures photométriques faites sur un cristal uniaxe, la pennine, et un cristal biaxe, l'épidote. Les observations relatives à l'épidote ont nécessité l'étude complète des spectres d'absorption de ce cristal, dont les diverses bandes ont des directions anomales qui ont été déterminées avec grand soin. Pour une région du spectre correspondant à un seul des spectres d'absorption, la courbe des intensités dans le plan g_1 comporte deux directions rectangulaires de symétrie; mais dans une région où se superposent deux spectres d'absorption, la courbe des intensités est dissymétrique.

Les conclusions qui précèdent rendent compte des observations de l'Auteur, ainsi que des résultats qu'a obtenus empiriquement avec l'épidote M. Ramsay, sans avoir eu connaissance ni des recherches présentes ni des spectres d'absorption anomaux de cette substance.

En résumé, ces recherches conduisent à une méthode d'analyse spectrale nouvelle, basée sur l'indépendance des diverses matières engagées dans un même cristal, et qui, en laissant intacts les cristaux sur lesquels on opère, permet de rendre compte de leur constitution intime et apporte des données nouvelles sur la manière dont on peut concevoir la propagation des ondes lumineuses au travers des cristaux.

Enfin, nous rappellerons que l'Auteur a publié en outre, sur l'Optique,

l'Électricité, le Magnétisme et la Météorologie, divers travaux sur lesquels on trouvera plus loin quelques développements.

Tous ces travaux ont été exécutés au laboratoire de Physique du Muséum d'Histoire naturelle de Paris.

En 1883, l'Académie des Sciences a décerné aux recherches de l'Auteur le prix Lacaze (Physique).

Mars 1889.

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

PUBLIÉS PAR M. HENRI BECQUEREL.

ÉLECTRO-OPTIQUE.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LA POLARISATION ROTATOIRE MAGNÉTIQUE.

1. Première Partie.

Mémoire lu à l'Académie des Sciences, le 7 juin 1875.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXX, p. 1376.)

La première Partie de ce Travail comprend plusieurs milliers de mesures de rotations magnétiques et d'indices de réfraction. L'Auteur a employé diverses méthodes, permettant de comparer avec une grande précision les rotations que subit le plan de polarisation d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée, traversant divers corps transparents solides ou liquides, soumis à la même influence magnétique. Par un choix convenable des corps étudiés, et en classant méthodiquement les résultats observés, il est arrivé à découvrir une *relation simple entre le pouvoir rotatoire magnétique des corps et leur indice de réfraction*. Cette relation, dont l'existence avait même été niée jusqu'à cette époque, a une importance capitale.

Des idées théoriques sur l'influence d'un entraînement partiel des ondes lumineuses ont conduit l'Auteur à penser que le pouvoir rotatoire magnétique R des corps était proportionnel à la fonction $n^2(n^2-1)$, n étant l'indice de réfraction pour la longueur d'onde des radiations étudiées.

En formant le rapport

$$\frac{R}{n^2(n^2-1)},$$

il a obtenu, par exemple, les résultats suivants.

SUBSTANCES.	POUVOIR rotatoire magnétique R.	INDICES DE RÉFRACTION. — Rayons		RAPPORTS $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$	
		rouges Li.	jaunes D.	rouge.	jaune.
Eau	0,308	»	1,334	»	0,22
Chlorure de silicium	0,444	»	1,409	»	0,22
Protochlorure de phosphore	0,651	»	1,508	»	0,22
Sulfure de carbone	1,000	1,612	1,625	0,24	0,23
Flint lourd	1,360	»	1,720	»	0,23
Phosphore	3,120	»	2,074	»	0,22
Blende	5,295	»	2,369	»	0,20
Sélénium	10,960	2,655	»	0,25	»
Oxydule de cuivre (ziguéline)	14,060	2,849	»	0,24	»

Un grand nombre de faits qui semblaient n'obéir à aucune loi simple s'expliquent facilement au moyen de la relation précédente, si l'on tient compte de la nature et de la constitution des corps. Les différentes substances étudiées, à ce point de vue, se classent par groupes pour lesquels le rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ est sensiblement constant, et qui se trouvent correspondre aux diverses familles chimiques auxquelles appartiennent ces substances.

Afin de donner une idée de l'étendue et de la nouveauté des expériences de l'Auteur, il convient de citer la liste des principales substances dont l'étude complète, comprenant le pouvoir rotatoire magnétique et l'indice de réfraction, est donnée pour la première fois dans le Mémoire.

Corps liquides.

Acide azotique.	Xylène.	Chlorures de soufre.
Alcool propylique.	Toluène.	Chlorure de sélénium.
» butylique.	Benzine.	Bromure de soufre.
» amylique.	Chlorure d'arsenic.	Brome.
Chloroforme.	Perchlorure d'antimoine.	Sous-sulfure de phosphore.
Chlorure de silicium.	Bichlorure de titane.	Acide chlorochromique.

Corps fondus.

Soufre fondu.	Phosphore.	Sélénium.

Corps solides et cristaux.

Verres divers.	Sylvine.	Diamant.
Borax.	Spinelle.	Blende.
Sel gemme.	Spath fluor.	Oxydule de cuivre (ziguéline).

Il faut ajouter à cette liste un grand nombre de dissolutions de sels divers, et notamment les chlorures de fer.

Les mesures de rotation étaient prises au moyen d'un polarimètre à pénombre, le plus souvent avec la lumière jaune de la soude ou la lumière rouge de la lithine. Les résultats correspondent généralement à une température moyenne de 16° C., excepté pour certains corps fondus; la température au moment de l'observation est indiquée dans le Mémoire.

Le champ magnétique de l'électro-aimant employé était d'environ 4000 unités C.G.S.

Les valeurs des indices de réfraction ont donné lieu, pour la plupart des corps, à des déterminations spéciales.

2. Deuxième Partie.

Mémoire lu à l'Académie des Sciences, le 31 janvier 1876.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXIII, p. 308.)

Dans la deuxième Partie de ce Travail, l'Auteur s'est attaché spécialement à rechercher l'influence propre de la nature des corps soumis à l'expérience. Il a étudié les corps magnétiques qui ont la propriété remarquable d'agir sur la lumière polarisée, à l'inverse des corps non magnétiques, et il a montré comment l'action propre de leurs molécules prend une importance prépondérante, d'abord pour renverser le sens du phénomène et ensuite pour donner lieu à une augmentation très rapide de l'effet produit, dans des dissolutions de plus en plus concentrées.

Dans ce dernier cas, *les rotations magnétiques inverses augmentent proportionnellement au carré du poids du corps dissous par unité de volume,* au lieu de varier proportionnellement à ce poids, comme il arrive pour les dissolutions des corps non magnétiques.

On peut rendre compte de ces faits en admettant que sous l'influence magnétique les molécules des corps deviennent de petits aimants, modifiant la propagation de la lumière polarisée, et réagissant en outre les uns sur les

autres, avec une intensité d'autant plus grande qu'elles sont plus rapprochées dans les dissolutions concentrées. L'Auteur a émis et développé cette hypothèse, qui relie très simplement entre eux les phénomènes de polarisation rotatoire dans les corps magnétiques et diamagnétiques.

3. Troisième Partie.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXIII, p. 125.)

On sait que les rapports des rotations magnétiques des plans de polarisation des rayons lumineux de diverses couleurs traversant un même corps diamagnétique, tel que l'eau ou le sulfure de carbone, soumis à l'influence magnétique, sont à très peu près en raison inverse des carrés des longueurs d'onde de ces rayons. L'Auteur a montré que, pour rendre plus exactement compte des observations, il convenait de combiner cette expression avec la fonction $n^2(n^2-1)$ de l'indice de réfraction, dont il a établi l'importance dans les Mémoires cités plus haut.

Il a découvert, en outre, que les rotations magnétiques inverses, produites par certains corps très magnétiques, ne suivaient pas la même loi, et qu'elles variaient à peu près *en raison inverse de la quatrième puissance des longueurs d'onde des rayons lumineux*. On s'approche beaucoup de l'observation en multipliant les nombres auxquels conduit la règle précédente par la fonction $n^2(n^2-1)$ de l'indice de réfraction correspondant à chaque rayon.

A la suite d'un Rapport favorable fait par M. Fizeau, au nom d'une Commission composée de MM. Fizeau, Jamin, Berthelot et Desains, l'Académie des Sciences, dans la séance du 29 janvier 1877 (*Comptes rendus*, t. LXXXIV, p. 211), a ordonné l'impression de l'ensemble de ces recherches dans le *Recueil des Savants étrangers*.

Un Mémoire contenant le détail des observations a été publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XII, p. 1 (1877).

Voir, pour un extrait, *Journal de Physique*, t. V, p. 233 (1876).

4. Rotations magnétiques des plans de polarisation des rayons lumineux de diverses longueurs d'onde.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXV, p. 1227; 1877.)

Ce travail a eu pour but d'étudier la dispersion rotatoire magnétique de certains corps difficiles ou dangereux à manier.

La méthode employée était celle des spectres cannelés, qui est particulièrement propre à la comparaison des rotations dans différentes régions d'un même spectre.

L'Auteur a déterminé la dispersion rotatoire pour les principales raies du spectre solaire dans divers liquides, et il a obtenu, entre autres, pour les rotations inverses du bichlorure de titane, à une température moyenne de 20°, les nombres suivants [1] :

Rotations magnétiques inverses du bichlorure de titane.

Raies.	R.	$\frac{n^2(n^2-1)}{\lambda^4}$.
C	0,637	0,627
D	1,000	1,000
E	1,590	1,614
b	1,730	1,768
F	2,271	2,336
G	4,328	4,110
h	5,450	5,290

Les conclusions de ce travail vérifient les résultats établis plus haut.

5. Recherches expérimentales sur la polarisation rotatoire magnétique dans les gaz.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVIII, p. 709; 1879, et t. XC, p. 1047; 1880. — *Journal de Physique*, t. VIII, p. 198; et t. IX, p. 265. — Mémoire publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. LXXI, p. 289.)

Jusqu'ici les divers physiciens qui avaient essayé de manifester dans les gaz le phénomène découvert par Faraday avec les solides et les liquides

---

[1] D'après un travail de M. Joubin (*Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XVI, p. 94, janv. 1889), la formule de M. Mascart $R = \frac{c}{\lambda}\left(n - \gamma\lambda\frac{dn}{d\lambda}\right)$ satisferait aux mesures relatives au bi-

n'avaient pu réussir dans leurs tentatives. En s'appuyant sur les résultats établis dans les recherches qu'on vient d'analyser, l'Auteur a vu la possibilité d'étendre les observations aux milieux gazeux. Il a fait construire, d'après ses prévisions, un appareil d'une précision remarquable, et il a pu, pour la première fois, non seulement manifester, mais encore mesurer la rotation magnétique du plan de polarisation de la lumière au travers des gaz à la température et à la pression ordinaires. Il a étudié jusqu'ici l'*oxygène*, l'*air*, l'*azote*, l'*acide carbonique*, le *protoxyde d'azote*, l'*acide sulfureux* et le *gaz oléfiant*.

L'appareil électromagnétique employé se composait essentiellement de six grosses bobines de $0^m,48$ de long et de $0^m,13$ de diamètre intérieur, contenant ensemble 90^{kg} de fil de cuivre de $0^m,03$ de diamètre, et parcourues par un courant électrique qui développait sur l'axe un champ magnétique de 158 unités C.G.S. environ. Suivant l'axe de ces bobines était disposé un gros tube en cuivre de $0^m,12$ de diamètre intérieur et de $3^m,27$ de long, fermé par des glaces parallèles travaillées avec grand soin. Dans ce tube on pouvait introduire les divers gaz, convenablement purifiés et desséchés. L'ensemble du système était monté sur un très fort banc en bois. A l'une des extrémités, étaient fixés un chalumeau oxyhydrique, au foyer d'un collimateur, et un gros polariseur à pénombres; à l'autre extrémité, était disposé un analyseur monté sur un cercle divisé, muni d'une forte lunette indépendante et de mouvements de réglage spéciaux. Deux miroirs plans, argentés à la première surface, étaient disposés sur des supports particuliers, de façon à faire réfléchir neuf fois au travers du tube, dans sa plus grande longueur, les rayons lumineux issus du polariseur.

La perfection du système optique était telle que, même après avoir traversé quarante surfaces de verre, un rayon polarisé ne subissait pas de dépolarisation sensible.

Les diverses corrections dues aux variations de l'intensité électromagnétique, à la distribution de ces intensités le long de l'axe, au défaut d'homogénéité de la source lumineuse, l'action exercée par les glaces interposées sur le trajet des rayons lumineux, les corrections de la température, de la pression des gaz, la discussion de la précision des mesures ont été chacune

---

chlorure de titane que l'Auteur a données, dans son premier Mémoire (n° 3), entre les longueurs d'onde 644,8 et 450,5. Toutefois, cette formule ne paraît pas s'appliquer aussi bien aux nombres ci-dessus, qui comprennent des variations de longueur d'onde dans des limites plus étendues que les précédentes.

l'objet d'études toutes spéciales, longues et minutieuses, qui ont permis d'assigner aux déterminations expérimentales une grande exactitude, malgré la faible grandeur du phénomène à mesurer. Les résultats ont un intérêt particulier en ce qu'ils s'appliquent à des pouvoirs rotatoires environ dix mille fois plus petits que ceux des corps liquides.

Les observations faites à des températures variables ont toutes été réduites à la température 0° et à la pression de 760^{mm}.

L'Auteur a pu ainsi comparer au pouvoir rotatoire magnétique du sulfure de carbone liquide les pouvoirs rotatoires magnétiques, inconnus jusque-là, des gaz à la température et à la pression ordinaires, et il est arrivé aux conclusions suivantes :

1° Les corps à l'état gazeux jouissent, comme les substances solides et liquides, de la propriété de dévier le plan de polarisation des rayons lumineux qui les traversent, pendant qu'ils sont soumis à l'influence magnétique.

2° Les rotations magnétiques des plans de polarisation des rayons de diverses longueurs d'onde traversant un même gaz (l'oxygène excepté) sont généralement à très peu près en raison inverse des carrés des longueurs d'onde.

3° L'oxygène a présenté une anomalie remarquable qui paraît liée à ses propriétés magnétiques exceptionnelles.

4° Il existe entre les pouvoirs rotatoires magnétiques et les indices de réfraction des gaz une relation intime, qui paraît la même que celle qui avait été découverte par l'Auteur pour les corps solides et liquides.

On a, par exemple, pour le pouvoir rotatoire magnétique de l'air rapporté à celui du sulfure de carbone liquide, et pour les rayons jaunes D, le nombre $R = 0,000159$, et le rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)} = 0,277$ est du même ordre de grandeur que ceux qui ont été indiqués plus haut (n° 1).

6. Sur la propagation inégale de la lumière polarisée circulairement, dans les corps soumis à l'action du magnétisme, suivant le sens de l'aimantation et le sens des vibrations lumineuses.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVIII, p. 334; 1879.)

Fresnel a montré que la rotation du plan de polarisation de la lumière au travers des substances produisant naturellement ce phénomène correspondait à une double réfraction particulière, au dédoublement d'un rayon

polarisé rectilignement en deux rayons polarisés circulairement en sens contraire l'un de l'autre. Il était important de vérifier si le même dédoublement s'appliquait au phénomène produit sous l'influence magnétique, qui diffère du précédent par des caractères essentiels. L'Auteur a installé cette expérience délicate et, en faisant interférer deux rayons lumineux polarisés circulairement, traversant deux parallélépipèdes de flint identiques, soumis à des actions magnétiques inverses, il a montré que ces rayons étaient avancés ou retardés dans leur marche suivant le sens de l'aimantation et le sens supposé des vibrations lumineuses (1); il a vérifié en outre qu'il y avait concordance entre les nombres déduits de l'observation et ceux qui résultent de l'application de la théorie de Fresnel.

7. Rotation du plan de polarisation d'un rayon lumineux sous l'influence du magnétisme terrestre.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXXXVI, p. 1075; 1878; t. XCIII, p. 481; 1881. *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXVII; 1882.)

En 1878, l'Auteur est parvenu à manifester et à mesurer la rotation du plan de polarisation de la lumière au travers d'une colonne de sulfure de carbone, sous la seule influence magnétique de la Terre. L'expérience avait été réalisée avec un saccharimètre ordinaire, portant un tube de $0^m,50$ plein de sulfure de carbone, et que les rayons lumineux traversaient trois fois. Il suffit de retourner bout pour bout l'appareil orienté parallèlement au méridien magnétique pour observer la rotation due au magnétisme terrestre. Avec la disposition indiquée ci-dessus, la déviation n'était que de 5′ à 6′ d'angle.

En 1881, l'Auteur reprit la mesure de ce phénomène en faisant usage du grand appareil de polarisation qui lui avait servi pour l'étude des pouvoirs rotatoires magnétiques des gaz, disposé sur un pivot convenable, et en remplissant le grand tube avec du sulfure de carbone liquide; il appliqua une nouvelle méthode d'amplification des petits déplacements du plan de polarisation de la lumière, qu'il avait imaginée en vue de cette expérience. Dans ces conditions expérimentales, la rotation due à l'action magnétique de la Terre était de $\frac{1}{2}$ degré environ.

---

(1) Presque en même temps M. Righi a réalisé, en Italie, la même expérience avec du sulfure de carbone liquide.

L'ensemble de ces recherches a été publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXVII, 1882.

En comparant la rotation observée au pouvoir rotatoire magnétique absolu du sulfure de carbone, on pourrait, par une seule observation optique, mesurer l'intensité absolue du magnétisme terrestre.

MESURE DU POUVOIR ROTATOIRE MAGNÉTIQUE DES CORPS EN UNITÉS ABSOLUES.

Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, le 2 juin 1885.

8. Première Partie.

(*Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. VI, p. 145; des extraits ont été publiés *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. C, p. 1374; et *Journal de Physique*, 2e série, t. IV, p. 437.)

Ce travail peut se diviser en deux parties : dans la première, l'Auteur a déterminé en unités absolues la valeur du pouvoir rotatoire magnétique d'un corps pris pour type ; dans la seconde, il a développé diverses considérations théoriques sur les phénomènes de la polarisation rotatoire magnétique.

La détermination de la grandeur du pouvoir rotatoire magnétique des corps en fonction des unités fondamentales de la Mécanique a une importance à la fois théorique et pratique. Les travaux de divers physiciens, et en particulier les recherches de l'Auteur, ont établi quels étaient les rapports des pouvoirs rotatoires magnétiques d'un grand nombre de corps, solides, liquides et gazeux. Il suffit donc de connaître la valeur absolue du pouvoir rotatoire magnétique de l'un quelconque des corps étudiés, pour en déduire celle de tous les autres, en ayant soin de préciser dans chaque cas la température des corps et la longueur d'onde des radiations qui correspondent aux mesures optiques. Dans ces comparaisons, on a généralement pris pour type le sulfure de carbone liquide, en raison de la grandeur de l'effet qu'il présente et de la facilité avec laquelle on l'obtient pur.

L'Auteur s'est proposé d'appliquer à la mesure absolue du pouvoir rotatoire magnétique du sulfure de carbone une méthode qu'il avait imaginée et qui est exposée plus loin (n° 30). La méthode consiste à mesurer la rotation du plan de polarisation de rayons lumineux de longueur d'onde connue au travers d'une colonne de sulfure de carbone disposée dans l'axe d'une bobine

électromagnétique, et dépassant d'une longueur suffisante les extrémités de celle-ci. La bobine, dont le nombre de tours N doit seul être exactement connu, est parcourue par un courant électrique dont l'intensité I doit être mesurée avec une grande exactitude. Si R est la rotation correspondant à un courant d'intensité I, la constante cherchée, α, c'est-à-dire la rotation pour l'unité d'épaisseur du corps placé dans un champ magnétique égal à l'unité, est donnée par la formule

$$\alpha = \frac{R}{4\pi NI}.$$

La même formule montre que la connaissance de α permettra de déterminer I par la simple mesure de R, c'est-à-dire par une observation optique qui, en outre, a l'avantage d'être instantanée.

Toutes les précautions ont été prises pour réaliser l'exactitude la plus grande possible dans les diverses déterminations.

L'appareil construit spécialement pour ce travail permettait de maintenir dans la glace fondante un tube en cuivre de 3^m de long, fermé par des glaces et plein de sulfure de carbone. Deux bobines dont le nombre de tours était exactement connu, l'une ayant 1038 tours et l'autre 3256 tours, ont servi de contrôle mutuel, et les plus grands soins ont été pris pour déterminer l'intensité absolue du courant électrique dans chaque expérience; l'intensité était déduite du poids d'argent déposé dans un voltamètre par le courant maintenu constant pendant la durée de l'expérience. La concordance complète entre les résultats obtenus dans des conditions magnétiques diverses a permis de compter sur une approximation de $\frac{1}{800}$ dans la valeur de la constante α dont la grandeur relative aux rayons jaunes de la vapeur de sodium incandescente, et à la température de la glace fondante, a été trouvée de 0',04341 (C.G.S.).

9. Deuxième Partie.

Considérations théoriques sur la polarisation rotatoire magnétique.

(*Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. VI, p. 163.)

Dans la seconde partie du Mémoire, après avoir passé en revue les diverses théories proposées jusqu'ici pour expliquer le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique par Airy, Neumann, Maxwell et, plus récemmment, par M. Rowland, l'Auteur montre qu'aucune d'elles ne

représente le phénomène complet. Il rappelle qu'il a démontré que les lois des rotations magnétiques *négatives* sont entièrement différentes de celles que suivent les rotations positives, et ne peuvent s'exprimer par les mêmes formules avec un simple changement de signe.

Les diverses théories précitées ne s'appliquent qu'aux rotations positives, tandis que les effets observés paraissent être la résultante de deux phénomènes distincts, inverses l'un de l'autre, dont l'un varie approximativement en raison inverse du carré des longueurs d'onde de la lumière, et l'autre, en raison inverse de la quatrième puissance des longueurs d'onde, le premier étant prédominant avec les corps diamagnétiques (eau, sulfure de carbone, *rotations positives*), le second inverse du premier et prédominant avec les corps magnétiques (sels de fer, bichlorure de titane, *rotations négatives*).

L'Auteur appelle de nouveau l'attention sur la formule qui résulte de ses recherches expérimentales analysées ci-dessus (nos 1 à 4) et qui reproduit, non seulement la variation du pouvoir rotatoire magnétique positif d'un même corps pour les radiations de diverses longueurs d'onde, mais encore les variations observées en passant d'un corps à un autre, des corps solides aux liquides et même aux gaz, dans les limites les plus étendues de l'ordre de grandeur du phénomène, de 1 à 100000.

D'après cette formule, la rotation magnétique positive observée dans un champ magnétique constant, au travers d'une même épaisseur des corps, serait inversement proportionnelle au carré de la longueur d'onde à l'intérieur des corps $\left(\frac{\lambda^2}{n^2}\right)$, proportionnelle au carré n^2 de l'indice de réfraction, et proportionnelle au facteur $\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$ qui, d'après les vues de Fresnel et les vérifications expérimentales de M. Fizeau sur l'*entraînement partiel des ondes lumineuses,* exprime la proportionnalité de l'influence d'un effet mécanique sur la propagation des ondes lumineuses. Ce sont, du reste, des considérations théoriques simples sur cet *entraînement partiel* qui ont conduit l'Auteur, au début de ses recherches, à la formule ci-dessus.

En terminant, l'Auteur montre comment l'hypothèse d'un mouvement tourbillonnaire du milieu qui transmet les ondes lumineuses à l'intérieur des corps, mouvement qui prendrait naissance sous l'influence magnétique, rendrait compte très simplement, dans le cas des rotations positives, du phénomène de la double réfraction circulaire, et conduirait à la loi de la raison inverse des carrés des longueurs d'onde. Les mesures absolues con-

tenues dans le Mémoire permettent même de calculer quelle devrait être la vitesse angulaire de ce mouvement hypothétique, et conduisent à cette conclusion, que, pour reproduire le phénomène qu'on observerait dans un champ magnétique égal à l'unité C.G.S., il faudrait communiquer au sulfure de carbone liquide une vitesse d'environ 1 million de tours par seconde, vitesse qu'on ne saurait réaliser jusqu'ici.

OPTIQUE.

10. Mémoire sur la polarisation atmosphérique et l'influence du magnétisme terrestre sur l'atmosphère.

(Mémoire lu à l'Académie des Sciences le 17 novembre 1879. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXIV, p. 838. — *Journal de Physique*, t. IX, p. 51. — *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XIX.)

Depuis Arago, on admettait que le plan de polarisation de la lumière, réfléchie par un point du ciel, passe par le Soleil. L'Auteur, au moyen d'appareils spéciaux qu'il a imaginés, a reconnu que la direction des plans de polarisation de la lumière atmosphérique n'est pas celle que l'on supposait, et il a découvert l'existence d'un phénomène diurne qui jusque-là avait échappé à l'observation.

Si l'on vise, par un ciel pur, un point de l'atmosphère et si à chaque instant on imagine un plan passant par la direction des rayons visuels et par le centre du Soleil (*plan du Soleil*), on observe que, pour un même point visé, *l'angle de ce plan et du plan de polarisation est périodiquement variable dans le cours d'une journée*. Par exemple, si l'on vise un point situé près de l'horizon, au nord ou au sud, on trouve que l'angle des deux plans dont on vient de parler est d'abord nul au lever du Soleil, qu'il atteint un maximum vers 9^h du matin, s'annule vers midi, atteint un second maximum vers 3^h du soir et s'annule enfin au coucher du Soleil. Les angles ainsi observés sont de plusieurs degrés; le plan de polarisation passe toujours au-dessous du Soleil; *à un même instant, la position du plan de polarisation n'est pas la même pour les rayons de diverses couleurs.*

L'explication de ce phénomène est assez simple : l'atmosphère réfléchit suivant une même direction et la lumière qui lui est envoyée directement par le Soleil et celle qui lui vient de toutes les directions, soit de l'atmosphère elle-même, soit de la surface de la Terre qui est éclairée. Cet ensemble de rayons lumineux forme un faisceau qui doit contenir des rayons polarisés dans tous les azimuts, et, comme ces rayons ont une intensité variable, il y a nécessairement un azimut pour lequel la somme des intensités des rayons polarisés dans le même plan est un maximum. Les polariscopes nous permettent de déterminer cette direction du maximum de polarisa-

tion, alors que l'ensemble des rayons polarisés dans les autres azimuts se comporte comme de la lumière non polarisée. Si le Soleil n'est pas la seule source d'illumination de l'atmosphère, mais seulement la source principale, le plan du maximum de polarisation ne doit pas généralement passer par le Soleil, et il s'en écarte plus ou moins lorsque, celui-ci s'élevant ou s'abaissant sur l'horizon, l'une quelconque des causes d'illumination secondaire, dues à l'atmosphère ou à la Terre, vient à varier. La présence de nuages ou de vapeurs apporte de notables perturbations aux effets qui précèdent.

Un des résultats les plus intéressants de cette étude est que la marche régulière du phénomène dont on vient de citer un exemple est affectée d'une petite perturbation qui paraît due à l'influence du magnétisme terrestre sur l'air atmosphérique. La symétrie de l'éclairement de l'atmosphère exigerait que, au moment où le Soleil passe dans le plan vertical du point visé, le plan de polarisation fût également vertical. Pour les directions voisines de celles de l'aiguille de déclinaison, on observe à ce moment que le plan de polarisation est dévié d'un petit angle. On a obtenu, pour des directions très voisines de l'horizon et suivant l'angle plus ou moins grand avec le méridien magnétique, des rotations de 22′, 24′, 36′ et 48′, toujours dans le même sens par rapport à la Terre, et dans des sens différents par rapport à l'appareil. Ces rotations ne peuvent donc pas être dues à des erreurs d'expérience.

Les mesures absolues dont il a été question plus haut montrent que le plan de polarisation d'un rayon lumineux jaune ayant traversé 150^{km} d'air à la pression de 760^{mm} est dévié par la Terre d'un angle de 20′,18. Pour les rayons plus réfrangibles, qui prédominent dans la lumière réfléchie par l'atmosphère, on aurait 25′ environ.

Si l'on observe que le sens de la déviation est celui qui correspondrait à l'influence de la Terre, on voit que l'on peut attribuer la rotation observée à l'influence du magnétisme terrestre sur les gaz de l'atmosphère, sans qu'il soit possible d'indiquer *a priori* autre chose que le sens et l'ordre de grandeur de cette influence.

Il convient d'ajouter quelques mots sur la description et le réglage de l'appareil imaginé par l'Auteur pour ces recherches.

Le principe de la méthode était de déterminer, sur le même cercle divisé, à la fois la position du plan de polarisation de la lumière venant d'un point de l'atmosphère, et la trace du plan du Soleil ; cette trace coïnciderait avec l'ombre projetée sur le cercle divisé par un fil qui formerait l'axe optique de l'appareil. Le mouvement de la Terre donnant lieu à une variation inces-

sante des directions de ces plans, on a fait des déterminations croisées en notant l'heure de chaque observation et en traçant ensuite des courbes représentatives des expériences, qui permettaient d'avoir, pour un même instant, les directions à comparer entre elles.

La position du plan de polarisation était donnée par un polariscope de Savart monté sur un cercle divisé au moyen d'un tube en cuivre mobile autour de son axe. Ce polariscope était réglé de manière que le plan de polarisation des rayons incidents passât par le zéro de l'alidade au moment de la disparition des franges au centre du champ visuel. Pour éliminer les erreurs de centrage, on faisait quatre déterminations à 90° l'une de l'autre.

A l'autre extrémité du tube était un appareil donnant l'ombre d'un point de l'axe optique, défini soit par une croisée de fils, soit par deux pointes d'aiguille placées en regard l'une de l'autre. On amenait cette ombre en coïncidence soit avec une droite invariablement liée au tube mobile et tracée sur un écran, soit avec un point tracé sur un écran et décrivant un plan passant par les pointes d'aiguille. Ce plan était réglé de façon à s'écarter peu du zéro de l'alidade. Il est facile de démontrer que la moyenne de deux déterminations, faites en retournant le tube de 180° environ, donne la direction qu'aurait l'alidade si le plan qui sert de repère passait rigoureusement par l'axe de rotation du tube; il faut seulement que le point dont on observe l'ombre soit exactement sur l'axe de rotation, condition que l'on peut réaliser dans l'appareil. Enfin on a réglé d'une manière spéciale le plan en question, de façon qu'il coïncidât à très peu près avec le plan de polarisation au moment de la disparition des franges du polariscope.

Dans la plupart des observations, il était nécessaire de connaître, sur le cercle divisé, la direction de la trace du plan vertical passant par l'axe optique. On déterminait directement cette trace, pour chaque position du cercle divisé, en observant simultanément les positions de l'ombre données par une source lumineuse et par son image réfléchie sur un bain liquide. Pour le Soleil, on observait successivement les positions de l'ombre directe et celles de l'ombre donnée par l'image du Soleil réfléchie sur l'eau. Les nombres obtenus permettaient, au moyen des heures correspondantes, de tracer deux courbes symétriques se coupant au moment où le plan du Soleil était exactement vertical.

Ces réglages étaient seuls essentiels pour mesurer l'angle du plan du Soleil et du plan de polarisation sur le cercle divisé, et celui-ci aurait pu être monté sur un support quelconque. Afin de pouvoir facilement orienter l'appareil dans des directions déterminées, le cercle était mobile autour d'un

axe horizontal et autour d'un axe vertical. Un cercle azimutal, muni d'une boussole et d'un niveau, et un cercle vertical permettaient de déterminer approximativement les coordonnées du point visé. Le double mouvement autour des deux axes permettait de viser la même direction au moyen d'un retournement qui correspondait au retournement bout pour bout de l'axe horizontal sur ses coussinets. L'expérience a montré que deux déterminations de la trace du plan de polarisation vertical de la lumière réfléchie sur l'eau dans la position directe du cercle et après le retournement ne différaient pas de plus de 0′30″ d'angle. L'exactitude dans l'orientation de la région visée n'avait, du reste, qu'une très faible influence sur la mesure du phénomène que l'on se proposait d'observer, et qui était surtout une mesure différentielle.

11. Détermination des indices de réfraction de diverses substances.

(*Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XII; 1877.)

Dans les recherches qui ont été analysées plus haut, aux nos 1, 2 et 3, l'Auteur a eu à mesurer les indices de réfraction de quatre-vingts substances environ, solides et liquides. Parmi ces mesures, un grand nombre avaient pour objet de fournir une donnée nécessaire aux recherches en question. D'autres présentent en outre un intérêt spécial, parce qu'elles s'appliquent à des corps dont les indices de réfraction étaient peu connus ou n'avaient pas encore été mesurés. On peut citer, en particulier, le *brome*, le *sélénium*, dont l'indice pour la raie B a été trouvé égal à 2,655, certaines dissolutions de *sels de fer*, d'*antimoine*, de *bismuth*, d'*étain* et principalement le *bichlorure de titane*, liquide difficile à manier, pour lequel l'Auteur a déterminé les indices de réfraction relatifs aux principales raies du spectre solaire. Il a trouvé pour ce corps les nombres suivants, correspondant à une température moyenne de 20° :

Indices de réfraction du bichlorure de titane.

Raies.	*n*.
C	1,5948
D	1,6043
E	1,6171
F	1,6293
G	1,6557

Enfin l'Auteur a observé une propriété très curieuse du *soufre fondu*.

Le soufre, dans le voisinage de son point de fusion, présente des variations considérables de ses indices de réfraction pour de petites différences de température. On a obtenu, par exemple, vers 120°, $n_D = 1,890$, et au moment de la solidification, $n_D = 1,929$. A ces variations correspondent des différences aussi grandes dans le pouvoir rotatoire magnétique.

12. Nouvelle méthode d'amplification des déplacements du plan de polarisation de la lumière.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIII, p. 143; 1881. — *Voir*, pour le développement de la méthode, *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXVII, p. 11.)

L'Auteur a montré comment la simple interposition d'une lame cristalline, *demi-onde* pour les rayons que l'on se propose d'étudier, permet, lorsqu'elle est convenablement orientée, de doubler et de tripler les déplacements du plan de polarisation de la lumière et d'augmenter la précision des mesures relatives à divers phénomènes de polarisation rotatoire. Toutes les particularités que comporte l'application de cette méthode et les précautions dont il convient de s'entourer sont développées dans un Mémoire cité plus haut (n° 7) et publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXVII, p. 11.

ÉTUDE DES RADIATIONS INVISIBLES INFRA-ROUGES AU MOYEN DES PHÉNOMÈNES DE PHOSPHORESCENCE.

M. Edm. Becquerel avait observé il y a longtemps que les radiations infra-rouges, lorsqu'elles viennent frapper une substance phosphorescente préalablement rendue lumineuse, détruisent la phosphorescence comme le ferait une élévation de température de la substance; il s'était servi du phénomène d'extinction pour explorer la région infra-rouge du spectre solaire.

L'extinction est précédée d'une excitation temporaire de la phosphorescence, de sorte que la substance rend avec une intensité plus grande et pendant un temps plus court la somme de lumière qu'elle émettrait pendant un temps beaucoup plus long et avec une intensité moindre si elle était maintenue à l'abri des rayons infra-rouges. Généralement les deux phases du phénomène se succèdent très rapidement et l'extinction finale est seule appréciable.

L'Auteur a reconnu que, pour certaines substances phosphorescentes, la

première phase du phénomène révèle avec beaucoup d'éclat la présence de ces radiations et permet d'apercevoir avec une grande netteté les détails des spectres infra-rouges. Il a mis à profit cette observation pour étudier cette région du spectre encore peu explorée.

13. Phosphorographie de la région infra-rouge du spectre solaire.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCVI, p. 121; 1883.
Annales de Chimie et de Physique, 5e série, t. XXX.)

Lorsqu'on projette le spectre solaire sur une substance phosphorescente convenablement choisie, on voit nettement apparaître le prolongement infra-rouge s'étendant jusqu'à une limite qui peut varier avec la substance employée. L'Auteur a donné une description détaillée de ce prolongement invisible, qui comprend un grand nombre de raies et de bandes inconnues ou peu connues à cette époque.

Dans une première Note, il a indiqué approximativement les longueurs d'onde de quelques-unes de ces bandes, puis, dans un Mémoire publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, il a décrit avec détail le spectre infra-rouge au travers d'un prisme de sulfure de carbone.

14. Spectres d'absorption infra-rouges de diverses substances.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCVI, p. 1215; 1883.
Annales de Chimie et de Physique, 5 série, t. XXX.)

La même méthode a permis d'étudier les spectres d'absorption de diverses substances pour les radiations infra-rouges, en particulier l'absorption atmosphérique. Le spectre d'absorption de l'eau liquide présente, dans l'infra-rouge, des bandes caractéristiques très voisines des grosses bandes du spectre solaire. Diverses substances, notamment les composés du didyme et du samarium, donnent des bandes d'absorption caractéristiques très intenses.

15. Détermination des longueurs d'onde des raies et bandes principales du spectre solaire infra-rouge.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIX, p. 417; 1884.)

Au moyen de substances phosphorescentes particulièrement sensibles, l'Auteur a pu étudier les spectres des réseaux et déterminer avec une pré-

cision beaucoup plus grande que précédemment les longueurs d'onde des raies et bandes principales du spectre solaire. Les nombres obtenus, qui sont compris entre la limite du spectre visible $0^{mm},000760$ et la longueur d'onde $0^{mm},001880$, montrent quelle est l'étendue de la région étudiée.

Depuis l'époque où l'Auteur a entrepris ces recherches, la région infra-rouge du spectre solaire a été étudiée par les méthodes photographiques du capitaine Abney, et par la méthode thermoscopique de M. Langley. Le bolomètre de M. Langley paraît sensible à des radiations infra-rouges moins réfrangibles encore que les dernières dont les substances phosphorescentes employées jusqu'ici aient pu révéler la présence, mais l'instrument ne permet pas d'étudier les détails du spectre. Au contraire, les photographies de M. Abney ne s'étendent que jusqu'à la longueur d'onde $\lambda = 0^{mm},000980$, mais elles donnent une finesse de détails très remarquable. Entre les longueurs d'onde $0^{mm},000760$ et $0^{mm},000980$, les valeurs déterminées par l'Auteur en 1884 pour les principales raies du spectre solaire concordent avec celles qui ont été données en 1886 par M. Abney.

Au delà, parmi les nombreuses bandes signalées par l'Auteur, les longueurs d'onde, qu'il a obtenues pour celles des larges bandes dont la présence peut être mise en évidence par le bolomètre, diffèrent peu de celles que M. Langley leur attribue.

L'Auteur a également déterminé directement les longueurs d'onde des bandes d'absorption du samarium, de $0^{mm},001079$ à $0^{mm},001097$ et de $0^{mm},001239$ à $0^{mm},001267$, qu'il avait découvertes et qui peuvent servir de repères dans la région extrême de l'infra-rouge.

16-17. Spectres d'émission infra-rouges des vapeurs métalliques.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCVII, p. 71; 1883; t. XCIX, p. 374; 1884. *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXX.)

La méthode phosphorographique décrite plus haut a permis à l'Auteur de découvrir, dans les spectres infra-rouges des vapeurs métalliques incandescentes, l'existence de raies et bandes d'émission sur lesquelles on ne possédait jusque-là aucun renseignement. Il suffit de projeter sur une substance phosphorescente convenablement préparée le spectre d'une vapeur métallique, pour voir apparaître le prolongement infra-rouge sous forme de lignes et bandes phosphorescentes figurant la continuation des lignes ou

groupes de lignes lumineuses de ce spectre. Les longueurs d'onde des radiations ainsi observées atteignent plus du double de celles des rayons rouges, et le quadruple de celles des rayons violets; la limite la moins réfrangible observée jusqu'ici par phosphorescence a une longueur d'onde voisine de $0^{mm},001900$.

Le champ d'observation nouveau que cette méthode ouvre à l'analyse spectrale surpasse à lui seul en étendue, comme différence des longueurs d'onde extrêmes, l'ensemble des régions visible et invisible connues jusque-là.

Ces observations mettent en évidence l'avantage de la méthode présente sur les méthodes photographiques et thermoscopiques, qui n'ont pu révéler l'existence des raies d'émission infra-rouges des corps. L'excitation phosphorogénique donne, en effet, presque instantanément une image d'ensemble du spectre, permettant de saisir certains phénomènes fugitifs, tels que le renversement des raies dans l'arc électrique et l'apparition de radiations dues à des éléments très volatils.

Dans un premier travail, en 1883, l'Auteur a indiqué les résultats les plus saillants de ses premières observations, et, en particulier, l'existence de raies et bandes d'émission très intenses dans les spectres infra-rouges des vapeurs de sodium, de potassium, de magnésium, de calcium, etc., dans l'arc électrique.

Dans une seconde publication, en 1884, l'Auteur a donné le résumé des mesures des longueurs d'onde des principales raies d'émission des métaux suivants : *potassium*, *sodium*, *strontium*, *calcium*, *magnésium*, *aluminium*, *zinc*, *cadmium*, *plomb*, *thallium*, *bismuth*, *argent*, *étain*. Ces mesures ont été exécutées soit au moyen d'un réseau, soit avec un grand spectroscope construit spécialement pour ces recherches et muni d'un système oculaire phosphorescent d'une disposition particulière.

Les substances phosphorescentes, réduites en poudre fine, étaient très régulièrement tassées dans une cuve plane fermée par une glace travaillée, et portant à la face interne une division en cinquièmes de millimètre. La position des raies était relevée sur cette échelle au moyen d'un microscope coudé. Pour déterminer les longueurs d'onde, on profitait de la superposition des raies infra-rouges avec les raies connues de la région visible des spectres d'ordre supérieur donnés par les réseaux.

Voici, à titre d'exemple, les longueurs d'onde obtenues pour les principales raies d'émission infra-rouges de diverses vapeurs métalliques dans l'arc électrique :

Longueurs d'onde en millionièmes de millimètre.

Potassium.	Aluminium.	Magnésium.
770	1128	899
1098	1361	1047
1162		1200
1233	Zinc.	1212
	1125	
Sodium.	1306	Bismuth.
819		837
1142	Plomb.	973
	1059,8	
Calcium.	1087	Étain.
858 } groupe.	1133	1083
876 }		1199
883 } groupe.	1221	
888 }	1229	Argent.
Cadmium.	Thallium.	771
1050	1156	825

On reconnait que cette région infra-rouge des spectres des vapeurs métalliques est très riche en radiations très intenses. Les grandes longueurs d'onde de ces rayons sont particulièrement favorables à l'étude des relations que les radiations émises par une même substance peuvent présenter entre elles.

L'Auteur s'occupe actuellement de perfectionner encore cette méthode d'observation, qui permet déjà d'apercevoir un grand nombre de détails dans les spectres infra-rouges.

La première Partie de ces recherches a été publiée dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXX. Les nombres qui résument les dernières déterminations des longueurs d'onde, et qui doivent être considérés comme les plus exacts, ont été donnés dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIX, p. 374; 1884.

RECHERCHES SUR L'APSORPTION DE LA LUMIÈRE ET SUR LA PHOSPHORESCENCE.

La recherche des causes de l'absorption et de l'émission élective de certaines radiations par divers corps, à une température inférieure à celle de l'incandescence, constitue un des problèmes les plus intéressants de la Physique, et dont la solution est liée à la connaissance des modes divers de transformation de l'énergie à l'intérieur des corps.

Les travaux analysés ci-après apportent sur cette question des données nouvelles et importantes.

18. Phénomènes de phosphorescence divers sous l'influence des radiations infra-rouges.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCVI, p. 1853; 1883.)

Maxima et minima d'extinction de la phosphorescence.

L'extinction de la phosphorescence sous l'influence des radiations infra-rouges présente des particularités très remarquables. Pour la plupart des substances phosphorescentes, lorsqu'elles sont exposées dans le spectre infra-rouge, l'extinction est inégalement rapide dans les diverses régions. Cette extinction se produit sous l'influence de radiations déterminées, souvent à l'exclusion des radiations voisines, et l'image du prolongement du spectre sur la substance phosphorescente se compose alors d'une ou plusieurs bandes où l'extinction a été très active, séparées par des régions où l'action a été, soit nulle, soit entièrement différente.

Sous l'influence des radiations infra-rouges, certaines substances phosphorescentes émettent avant de s'éteindre une lueur différente comme couleur de celle qu'elles émettent à la température ordinaire; bien plus, la même substance exposée dans des régions différentes du spectre infra-rouge peut donner lieu à des lueurs de teintes diverses, de sorte que le prolongement lumineux du spectre se présente sous forme de larges bandes de couleurs différentes. Ces effets varient avec la température des substances phosphorescentes. On sait qu'à l'autre extrémité du spectre les phénomènes d'excitation phosphorogéniques, sous l'influence des radiations violettes et ultra-violettes, présentent des maxima et minima, et des variations de couleurs analogues à celles qui viennent d'être décrites; il paraît même y avoir une relation entre les longueurs d'onde des rayons qui, pour la même substance, correspondent d'un côté du spectre aux maxima d'excitation phosphorogénique, et de l'autre aux maxima d'extinction; l'ensemble de ces régions actives constitue en effet le spectre d'absorption de la substance, une radiation ne pouvant produire un effet phosphorogénique qu'à la condition d'être absorbée.

Phénomènes d'extinction à diverses températures.

L'influence d'une élévation de température paraît en général hâter les effets d'extinction et réduire la durée des diverses phases du phéno-

mène. On sait, d'autre part, que les phénomènes d'excitation dans l'ultra-violet sont eux-mêmes modifiés. Lorsqu'une substance phosphorescente est portée à une température déterminée, si l'on vient à abaisser la température, l'émission de lumière diminue au point de devenir insensible. Si l'on porte de nouveau le corps à la température primitive, la phosphorescence reparaît, et s'avive de nouveau si l'on dépasse cette température. L'expérience suivante donne une idée de ces variations : diverses préparations de sulfure de calcium ont été portées à la température de 240°. Excitées par des rayons violets et ultra-violets, elles étaient vivement lumineuses et le spectre solaire, projeté sur celles-ci, avait éteint la phosphorescence dans la région infra-rouge et marqué en noir la trace de cette région. On a laissé les substances se refroidir à l'obscurité; au bout de quelques instants elles étaient devenues obscures, et on les laissa ainsi à l'obscurité jusqu'au lendemain. Vingt-quatre heures plus tard on chauffa de nouveau à 240° l'étuve où étaient les sulfures. Ceux-ci restèrent obscurs; mais aussitôt que cette température fut atteinte et dépassée, ils reprirent l'éclat qu'ils avaient la veille, et l'on voyait aussi distinctement la trace du prolongement infra-rouge du spectre solaire que si celui-ci venait d'être projeté sur les substances.

Cette expérience montre nettement que par le refroidissement l'émission lumineuse est presque annulée et que, dans ces conditions, les substances gardent pendant un temps très long l'énergie lumineuse acquise lorsqu'elles étaient à une température supérieure.

L'Auteur continue actuellement l'étude de ces faits, qui se rattachent aux transformations des mouvements vibratoires intermoléculaires des corps et qui offrent le plus haut intérêt.

Une partie de ces recherches ont été publiées dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXX, p. 53; 1883.

19. Relations entre l'absorption de la lumière et l'émission de la phosphorescence dans les composés d'uranium.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CI, p. 1252.)

Les composés d'uranium présentent, au point de vue des phénomènes de phosphorescence et d'absorption, une constitution moléculaire exceptionnelle. Ils peuvent se diviser en deux classes correspondant à des propriétés

optiques distinctes : 1° les *composés uraniques*, dont la phosphorescence a été étudiée il y a longtemps par M. Ed. Becquerel ; 2° les *composés uraneux*, qui ne sont pas phosphorescents, et dans lesquels l'Auteur a observé des phénomènes d'absorption caractéristiques très remarquables.

1° *Composés uraniques.* — Les composés uraniques sont pour la plupart phosphorescents. On sait que, si l'on analyse au spectroscope la lumière qu'ils émettent, on observe en général un spectre discontinu formé de sept à huit bandes ou groupes de bandes régulièrement distribuées entre les raies C et F du spectre solaire, et dont les positions et les apparences dépendent de la nature des composés. Ces mêmes substances présentent un spectre d'absorption formé de bandes ou groupes de bandes, dont la position et le groupement semblent figurer dans le spectre la continuation de la série régulière des bandes d'émission par phosphorescence.

Les longueurs d'onde de toutes ces bandes, soit du spectre d'émission par phosphorescence, soit du spectre d'absorption, sont liées entre elles par une même loi que l'Auteur a été conduit à formuler comme il suit : *La différence des inverses des longueurs d'onde,* ou, en d'autres termes, *la différence des nombres de vibrations lumineuses pendant le même temps est sensiblement constante lorsqu'on passe d'un groupe au suivant.*

Chaque bande d'absorption correspond à un ensemble de radiations qui excitent la phosphorescence, et, sous l'influence de chacun de ces groupes de radiations excitatrices, le spectre d'émission par phosphorescence se compose toujours des sept ou huit mêmes bandes qui paraissent être des harmoniques inférieures des radiations excitatrices.

En outre, l'auteur a observé que l'on pouvait constater la coïncidence d'une ou deux des bandes d'absorption les moins réfrangibles avec les dernières bandes visibles du spectre d'émission par phosphorescence, et il a conclu de ce fait que la cause même de l'absorption était probablement due à la propriété qu'ont ces corps de vibrer à l'unisson de certaines des radiations qui les frappent. Le phénomène de l'absorption dans ce cas aurait une certaine analogie avec celui que présentent les vapeurs incandescentes qui arrêtent les radiations synchrones de celles qu'elles émettent ; mais il y a entre les deux phénomènes cette différence capitale que, dans le cas de la phosphorescence, la force vive absorbée se retrouve en partie sous forme de mouvements vibratoires lumineux moins rapides que ceux des radiations absorbées.

2° *Composés uraneux.* — L'Auteur a été conduit à étudier les composés

uraneux dont les propriétés optiques n'étaient pas connues, et où il a observé la présence de bandes d'absorption caractéristiques non seulement dans la région visible, mais encore très loin dans l'infra-rouge.

Un fait qui ajoute encore à l'importance des vues théoriques résumées plus haut est que *les bandes d'absorption des composés uraneux suivent avec une régularité remarquable la loi de répartition des bandes d'émission par phosphorescence des composés uraniques, sans avoir toutefois les mêmes intensités relatives.*

Les positions et les caractères de ces bandes varient avec la nature du composé, et suivant que celui-ci est cristallisé ou dissous dans l'eau.

Ces considérations, particulières aux composés d'uranium, paraissent pouvoir s'étendre à un grand nombre d'autres corps; l'auteur s'occupe en ce moment de cette question.

En dehors des données théoriques, les caractères décrits plus haut fournissent à l'analyse spectrale un moyen précieux de déceler des traces de composés uraneux dans certaines substances et en particulier dans certains minéraux (zircons et jargons de Ceylan, du Groenland, de Norvège, etc.).

RECHERCHES SUR L'ABSORPTION DE LA LUMIÈRE DANS LES CRISTAUX.

Ces recherches, qui ont fait l'objet de longues études, ont été résumées dans les publications suivantes :

20. Sur les variations des spectres d'absorption et des spectres d'émission par phosphorescence d'un même corps.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CII, p. 106.)

21. Sur les variations des spectres d'absorption dans les milieux non isotropes.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CIII, p. 198.)

22. Sur les lois de l'absorption de la lumière dans les cristaux et sur une méthode nouvelle permettant de distinguer dans un cristal certaines bandes d'absorption appartenant à des corps différents.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CIV, p. 165.)

23. Absorption de la lumière au travers des cristaux.

(*Bulletin de la Société française de Minéralogie*, t. X, p. 120.)

Elles ont été développées dans un Mémoire publié dans les *Annales de*

Chimie et de Physique, 6e série, t. XIV, p. 170, et accompagné de Planches représentant un certain nombre de spectres d'absorption.

L'Auteur, en étudiant les propriétés optiques d'un échantillon de strontianite bacillaire verte d'Écosse, remarquable par ses propriétés phosphorescentes, observa que le spectre de la lumière transmise au travers de ce cristal présentait quelques raies noires très fines. Si l'on polarisait la lumière incidente, les raies noires disparaissaient pour une direction convenable du plan de polarisation. Il rapprocha immédiatement ce fait d'une observation analogue de Bunsen qui, en 1866, avait remarqué que, si l'on fait traverser un cristal de sulfate de didyme par un rayon de lumière polarisée dans un plan faisant avec la diagonale horizontale du cristal un angle de 20°, le spectre d'absorption était légèrement différent de celui qu'on obtient lorsque le rayon incident est polarisé dans un plan rectangulaire. En 1869, M. Sorby avait signalé une variation analogue au travers de certains jargons ou zircons uranifères.

Ces deux observations étaient restées des faits isolés, au moment où l'Auteur montra que *tous les cristaux biréfringents donnant des bandes d'absorption présentaient des spectres d'absorption variables avec la direction des vibrations lumineuses traversant ces cristaux.*

En étudiant la lumière transmise au travers d'un grand nombre de corps cristallisés, artificiels et naturels, l'Auteur a reconnu dans un grand nombre de ces derniers la présence du didyme, et à la liste connue des cristaux qui contiennent cette substance à l'état de traces il a ajouté incidemment la *strontianite bacillaire verte d'Écosse*, la *mélinophane* et la *leucophane*.

Nous ne pouvons, dans cette analyse rapide, donner tous les détails des méthodes d'observations soit pour constater les variations des spectres d'absorption et relever la position des bandes, soit pour les mesures photométriques.

Dans certains cas, on plaçait simplement le cristal, éclairé par de la lumière naturelle, en avant de la fente d'un spectroscope dont l'oculaire était muni d'une loupe dichroscopique. La disposition employée pour la plupart des déterminations a été la suivante : la lumière donnée par un chalumeau à gaz oxyhydrique traversait un polariseur formé d'un prisme de nicol monté sur un cercle divisé, passait ensuite au travers du cristal à étudier, et arrivait sur la fente d'un spectroscope à vision directe ayant une assez grande dispersion. Le cristal était monté sur un goniomètre, analogue à celui qui sert à la mesure des angles des axes, et plongé dans un

liquide convenablement réfringent. On pouvait faire tourner les lames cristallines d'un angle connu autour d'un axe vertical, et une disposition particulière permettait de faire tourner la lame sur elle-même autour d'un axe horizontal, de manière à orienter convenablement dans le cristal l'axe de rotation vertical. Dans ces conditions, en faisant tourner soit le polariseur, soit le cristal, on observait les variations des spectres d'absorption. La position des bandes était relevée sur l'échelle du spectroscope.

On a ainsi obtenu les résultats suivants :

Cristaux uniaxes. — Lorsqu'un cristal biréfringent uniaxe manifeste une absorption élective des radiations lumineuses, cette absorption n'est pas la même pour le rayon ordinaire et pour le rayon extraordinaire.

Les différentes bandes, parfois très nombreuses, ont été définies par leur longueur d'onde moyenne, déterminée avec soin. Quelques-uns des spectres caractéristiques ont été dessinés dans les Planches qui accompagnent le Mémoire.

Les cristaux uniaxes dont les spectres ont été décrits sont : la *schéelite de Traversella*, l'*apatite jaune d'Espagne* et des *phosphorites diverses*, la *parisite*, le *xénotime* des *zircons-jargons* uranifères, la *pennine* et l'*idocrase*.

Les faits fondamentaux qui résultent des observations faites avec ces cristaux sont les suivants :

1° *Les bandes observées au travers d'un même cristal ont des positions fixes dans le spectre, leur intensité seule varie;*

2° *Les spectres d'absorption observés dans des directions quelconques au travers d'un cristal uniaxe sont formés par la superposition de deux séries de bandes correspondant, l'une à des vibrations normales à l'axe, l'autre à des vibrations parallèles à l'axe;*

3° *Pour tout rayon ordinaire, dans le même cristal, c'est-à-dire pour toute vibration normale à l'axe, le spectre d'absorption est le même à égalité de matière traversée* (SPECTRE ORDINAIRE).

Pour tout rayon extraordinaire, c'est-à-dire pour toute vibration orientée dans le plan de l'axe du cristal et de la direction de propagation, le spectre d'absorption est le même que si cette vibration se décomposait en deux autres, l'une parallèle à l'axe (SPECTRE EXTRAORDINAIRE), *l'autre normale à l'axe, pour se composer de nouveau à la sortie du cristal et former une vibration résultante parallèle à la direction de la vibration lumineuse incidente.*

Cette dernière conclusion, qui résulte de l'observation qualitative des spectres et de l'apparition ou de la disparition de diverses bandes, conduit

à représenter l'intensité d'une région absorbée, dans un rayon extraordinaire se propageant dans une direction faisant avec l'axe un angle α, par la formule

$$i = (a \cos^2 \alpha + b \sin^2 \alpha)^2,$$

a^2 étant l'intensité lumineuse de la région considérée dans le spectre ordinaire, et b^2 l'intensité dans le spectre extraordinaire.

Les écarts entre les nombres déduits de cette formule et des mesures photométriques faites avec la pennine ne paraissent pas supérieurs aux erreurs d'observation.

Cristaux biaxes. — Les cristaux biaxes étudiés appartiennent soit au type orthorhombique (péridot, nitrate d'uranyle), soit au type clinorhombique. Ces derniers cristaux ont donné les résultats les plus intéressants : ce sont l'épidote, le chlorure double d'uranium et de potassium, et surtout les cristaux contenant du didyme, la monazite, le sulfate de didyme et des azotates doubles de didyme ou de lanthane mélangé de didyme, avec la potasse ou l'ammoniaque.

On a déterminé les angles des axes de ces cristaux et relevé avec le plus grand soin toutes leurs bandes d'absorption entre les raies C et G de la région visible du spectre. Les longueurs d'onde de ces bandes, pour les directions parallèles aux axes d'élasticité optique, sont données dans les Tableaux du Mémoire précité. Quelques spectres ont été dessinés et reproduits dans les Planches accompagnant le Mémoire. Le sulfate de didyme, entre autres, présente une soixantaine de bandes dont quelques-unes sont très fines.

Les bandes d'absorption occupent dans le spectre des positions fixes, mais leur intensité est variable avec la direction de la vibration lumineuse traversant le cristal et, à égalité d'épaisseur de matière traversée, ne dépend que de cette direction.

Chaque bande a trois directions de symétrie rectangulaires (directions principales d'absorption); quand la vibration lumineuse coïncide avec l'une d'elles, la bande présente son maximum d'absorption; suivant une autre la bande a une intensité moyenne, et suivant la troisième *la bande disparaît généralement.*

Dans les cristaux orthorhombiques, les directions principales d'absorption coïncident avec les directions de symétrie du cristal.

Il n'en est plus de même pour les *cristaux clinorhombiques.* Dans ceux-ci, *l'axe de symétrie est toujours une direction principale d'absorption commune à toutes les bandes, mais les deux autres directions principales rectangulaires des*

diverses bandes peuvent être diversement orientées dans le plan de symétrie g_1. Les unes s'écartent peu des axes principaux d'élasticité optique, les autres font avec ceux-ci des angles très grands, atteignant parfois près de 45°. Ces directions ont été appelées par l'Auteur *directions principales d'absorption anomales*.

Ces lois comprennent comme cas particuliers tous les phénomènes de polychroïsme observés par divers savants depuis les premières observations d'Arago et Biot en 1816.

Méthode nouvelle d'analyse spectrale fondée sur l'observation des directions principales d'absorption.

L'observation des *directions anomales d'absorption* est un des résultats les plus importants de ces recherches par les conséquences auxquelles il a conduit.

Le phénomène paraît dû à la coexistence dans le même cristal de matières différentes, géométriquement isomorphes mais optiquement dissemblables, et qui, au point de vue de l'absorption, se comportent comme si chacune d'elles était seule.

De Senarmont a montré que, si l'on fait cristalliser des mélanges en proportions variables de deux substances géométriquement isomorphes, mais ayant leurs axes optiques différemment orientés par rapport aux directions géométriquement semblables des cristaux, on obtient des cristaux mixtes dans lesquels l'écartement des axes est variable. On peut faire prédominer tour à tour l'influence de chaque substance dans le mélange et, pour certaines matières en proportions convenables, réaliser des cristaux uniaxes pour une certaine couleur ayant leurs axes rouges dans un plan et les axes bleus écartés dans le plan rectangulaire. Chaque substance apporte donc dans le mélange son influence propre, et l'influence observée sur la propagation des ondes lumineuses au travers du cristal mixte est la résultante des actions que chacune des molécules composantes exerce sur la propagation des mouvements vibratoires lumineux.

Il n'en est pas de même de l'absorption, qui, en général, pour une radiation donnée, est une propriété particulière à une seule des matières mélangées, et qui n'est pas modifiée par la présence des autres matières du mélange. Les directions principales d'absorption d'une molécule absorbante déterminée resteront donc les mêmes, par rapport aux directions cristallographiques, que la substance soit cristallisée isolément, ou qu'elle soit engagée dans un mélange d'autres matières. Ces directions peuvent ne pas

coïncider avec les axes d'élasticité optique du cristal composé, et dès lors *elles indiquent la présence de molécules différentes dans l'édifice cristallin.*

En outre, comme, toutes les fois que la symétrie impose des orientations communes aux axes d'élasticité optique des molécules composantes, les directions principales d'absorption coïncident avec ceux-ci, on peut admettre que dans les molécules cette coïncidence persiste, et que dans un cristal complexe les directions principales d'absorption anomales indiquent les directions d'élasticité optique des molécules qui produisent cette absorption.

On peut même aller plus loin et reconnaître l'existence de substances différentes, même quand celles-ci ne manifestent pas de directions anomales d'absorption; il arrive, en effet, que l'on retrouve, dans plusieurs cristaux de sels différents, les mêmes bandes; si, dans l'un de ceux-ci, deux bandes deviennent maximum ou disparaissent pour la même direction ou pour des directions très voisines de la vibration lumineuse, et si, dans un autre cristal, ces bandes ne disparaissent plus en même temps, l'une disparaissant, par exemple, pour la direction qui rend l'autre maximum, on peut en conclure que ces bandes sont dues à deux molécules différentes dont l'orientation mutuelle a changé d'un cristal à l'autre.

L'étude des spectres d'absorption des sels cristallisés de didyme vérifie ces déductions de la manière la plus complète.

On sait que le didyme a été dédoublé, il y a peu d'années, en deux groupes de matières : le néodyme et le praséodyme. Dans le sulfate, les bandes du praséodyme se distinguent immédiatement de celles du néodyme par leurs directions anomales d'absorption. Bien plus, chacune des bandes du praséodyme caractérise un corps distinct. L'une de ces bandes avait déjà été séparée chimiquement avant la publication de ces résultats, et depuis M. Demarçay a pu accumuler dans une liqueur l'une des autres matières du praséodyme.

Si l'on étend ces considérations aux bandes anomales des divers azotates doubles de didyme ou de lanthane mélangé de praséodyme, et de la monazite, on trouve dans le néodyme diverses bandes caractérisant des corps distincts, et l'on est conduit à reconnaître dans le didyme un mélange d'un grand nombre de substances différentes, parmi lesquelles se trouvent toutes celles qui ont déjà été isolées chimiquement. Il y a certainement parmi les matières signalées et non isolées plusieurs corps distincts, mais toutes ne sont pas des corps simples différents, et, comme on le verra plus loin (n°s 25 et 26), des composés divers des mêmes terres se comportent, dans les mélanges, comme des corps distincts.

L'expérience suivante, sur laquelle on reviendra plus loin, montre nettement l'existence de ces composés; si, après avoir relevé exactement toutes les bandes d'un cristal de sulfate ou d'azotate de didyme, on dissout dans un peu d'eau ce cristal, le spectre d'absorption de la dissolution est notablement différent. Certaines bandes ont disparu; d'autres manifestent dans un sens ou dans l'autre des déplacements individuels indépendants de ceux des bandes voisines, qui parfois restent fixes. Les bandes qui manifestent ces variations individuelles sont celles-là mêmes qui se distinguaient mutuellement par leurs directions principales anomales, et toutes les variations s'expliquent si l'on admet qu'il existe dans les cristaux un mélange de composés inégalement altérables, ou complètement détruits et transformés par l'eau.

L'étude des lois de l'absorption cristalline, et en particulier la découverte de l'existence de *directions principales d'absorption anomales,* fournit donc une méthode nouvelle d'analyse spectrale d'une puissance d'investigation considérable, mettant en évidence dans les cristaux, sans les altérer, l'existence de corps différents, de composés que les méthodes chimiques détruiraient en voulant les déceler, et enfin montrant, à l'intérieur des cristaux composés, non seulement les matières distinctes, mais encore la direction des axes d'élasticité optique de chaque molécule composante.

24. Sur le polychroïsme communiqué à certains cristaux par des matières colorantes.

(*Annales de Chimie et de Physique,* 6e série, t. XIV, p. 247.)

On sait que de Senarmont, en faisant cristalliser de l'azotate de strontiane dans des dissolutions très colorées, a obtenu des cristaux fortement dichroïques.

D'après ce qu'on a vu plus haut, le polychroïsme semble la conséquence de la constitution cristalline des molécules absorbantes. Cependant on peut se demander s'il est possible d'attribuer le polychroïsme à une matière colorante amorphe disséminée dans un cristal naturellement incolore. La difficulté de faire entrer des matières colorantes cristallisables dans un réseau cristallin donné semble montrer que celles-ci doivent y prendre une orientation qui expliquerait la manifestation du polychroïsme.

L'Auteur, après avoir discuté et reproduit les expériences de de Senarmont, signale les variations de couleur de la fluorine, qui perd sa coloration

par la chaleur et la reprend sous l'influence de l'effluve électrique, et appelle l'attention sur le dichroïsme énergique du quartz enfumé, qui ne paraît pas avoir été observé antérieurement.

L'Auteur conclut de ses recherches que la constitution cristalline paraît nécessaire pour qu'une molécule absorbante soit polychroïque, et que, s'il existe des matières réellement amorphes à l'état libre qui deviennent polychroïques à l'intérieur d'un cristal, on doit admettre que dans le réseau cristallin les molécules sont obligées de prendre un arrangement régulier qui constituerait un véritable groupement cristallin ; dès lors les propriétés polychroïques seraient dues à ce que, dans ce groupement, l'élasticité moléculaire serait différente dans les diverses directions. Le polychroïsme apparaît donc comme ayant pour cause nécessaire l'organisation cristalline de la molécule absorbante.

25. Sur les variations des spectres d'absorption du didyme.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CIV, p. 777. *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XIV, p. 257.)

Comparaison des spectres d'absorption des cristaux avec les spectres de leurs dissolutions dans l'eau.

On a vu plus haut qu'en dissolvant un cristal d'un sel de didyme dans l'eau, le spectre d'absorption de la dissolution présente avec celui du cristal de notables différences.

L'Auteur a décrit les spectres des cristaux et des dissolutions correspondantes pour plusieurs sels : le *sulfate de didyme*, l'*azotate double de didyme et de potasse, des azotates doubles de lanthane et de potasse, de lanthane et d'ammoniaque*, contenant de fortes proportions de praséodyme, un *azotate double de didyme et de zinc*, et le *platinocyanure de didyme*. Les bandes sont caractérisées par leur position sur l'échelle du spectroscope et par leur longueur d'onde.

On reconnaît que les spectres des dissolutions des divers sels diffèrent peu les uns des autres ; ceux des dissolutions des azotates sont tous identiques, et voisins de celui de la dissolution du sulfate. Les spectres des cristaux sont au contraire fort différents. Certaines bandes disparaissent dans les dissolutions. La plupart des autres manifestent des déplacements individuels dus à des variations d'ordre chimique provoquées par le dissolvant. Ces variations révèlent l'existence de composés inégalement alté-

rables par l'eau et conduisent à distinguer entre elles les mêmes matières du néodyme et du praséodyme qui, dans les cristaux, présentaient des directions principales d'absorption différentes.

On trouve donc dans ces observations une confirmation des vues exposées plus haut, et, en même temps, une autre application de l'analyse spectrale par absorption, pour les sels cristallisés solubles.

26. Sur les variations des spectres d'absorption des composés du didyme.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CIV, p. 1691. *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XIV, p. 267.)

L'Auteur a comparé entre eux les spectres d'un grand nombre de composés du didyme ; des cristaux naturels, la *parisite*, la *strontianite d'Écosse*, la *monazite*, la *rabdophane*, l'*apatite jaune*, la *schéelite*, la *leucophane*, qui renferment du didyme à l'état de carbonate, de phosphate, de tungstate ou de fluosilicate ; puis les sels cristallisés du didyme, le *sulfate*, les *azotates doubles*, le *platinocyanure*.

Dans tous ces spectres, on reconnaît que diverses bandes dont l'aspect est caractéristique subsistent, mais qu'elles subissent, les unes par rapport aux autres, des déplacements relatifs variables conduisant à distinguer entre elles les mêmes matières qui ont été signalées plus haut.

Des variations bien plus grandes ont été observées lorsqu'on calcine progressivement un même sel de façon à chasser d'abord l'eau, puis une partie, puis la totalité de l'acide. Les matières ainsi calcinées sont pulvérulentes ; le spectre d'absorption était examiné par réflexion en éclairant fortement la matière ; les spectres présentent ainsi des lignes aussi nombreuses et aussi fines que par transmission. L'Auteur a décrit les spectres des divers produits obtenus en calcinant l'azotate de didyme dans l'hydrogène. On obtient d'abord l'azotate anhydre fondu, puis deux sous-azotates basiques, puis un produit qui paraît être l'oxyde anhydre, et qui, à l'air, se transforme en oxyde hydraté. Il a étudié en outre les spectres de divers produits de la calcination de l'oxyde hydraté, du sulfate hydraté, du sulfate anhydre et du sulfure de didyme.

Les spectres obtenus sont entièrement différents de ceux que l'on connaissait. Certaines séries de bandes paraissent déplacées solidairement, soit vers le rouge, soit vers le bleu, et, pour divers groupes, il arrive que les différences des nombres de vibrations lumineuses de deux bandes corres-

pondantes sont à peu près constantes d'un spectre à l'autre. Sans insister sur ces comparaisons, qui présentent une certaine incertitude, l'Auteur fait remarquer que les bandes principales de plusieurs de ces composés apparaissent parfois très faiblement dans les spectres des cristaux hydratés; ce qui démontre que, parmi les nombreuses matières distinctes que les recherches présentes permettent de caractériser, un certain nombre sont des composés différents qui se comportent comme des corps distincts.

27. Sur les spectres d'absorption de l'épidote.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CVIII, p. 282.)

Il était important de vérifier par des mesures photométriques les conséquences des principes déduits des recherches citées plus haut, et ces vérifications exigeaient l'étude préalable des spectres d'absorption d'un cristal clinorhombique présentant de larges bandes. L'Auteur a choisi pour cette étude l'épidote, dont il avait déjà signalé les principaux caractères d'absorption, et qui a fait l'objet de nombreuses mesures photométriques de la part de divers auteurs : aucun de ceux-ci ne paraît, du reste, avoir eu connaissance des spectres d'absorption de cette substance.

Lorsque les vibrations lumineuses qui traversent un cristal d'épidote verte sont parallèles à l'axe de symétrie, presque toute la région visible est absorbée. Au contraire, lorsque les vibrations lumineuses sont parallèles au plan de symétrie, on aperçoit dans le spectre diverses bandes qui, pour des orientations convenables, disparaissent tour à tour.

L'Auteur décrit ces bandes qui forment trois groupes, et il donne la longueur d'onde moyenne de chacune d'elles : au moyen de petits cylindres taillés de façon à avoir pour axe l'axe de symétrie, il a déterminé dans le plan de symétrie les directions des axes optiques pour diverses couleurs de longueur d'onde bien définie, et a rapporté à ces directions les directions principales d'absorption anomales de chacune des bandes. Les directions anomales de ces bandes montrent que celles-ci appartiennent à des matières différentes, et l'on trouve une preuve nouvelle de cette déduction dans la répartition inégale de ces matières absorbantes dans les épidotes de diverses provenances. Dans une épidote jaune clair du Tyrol, l'une de ces bandes caractéristiques subsiste presque seule avec toute son intensité.

Les considérations développées plus haut montrent que l'on ne peut se prononcer sur la nature des matières absorbantes donnant les bandes signa-

lées ci-dessus, plusieurs de ces matières pouvant être des composés différents d'un même corps.

Incidemment, l'Auteur a vérifié que les directions du maximum et du minimum d'absorption dans le plan de symétrie, pour les radiations correspondant à une bande de la région rouge, étaient rectangulaires. On verra ci-après qu'il pourrait n'en être pas ainsi pour une région où viennent se superposer deux spectres ayant des directions anomales différentes.

28. Sur les lois de l'absorption de la lumière dans les cristaux.

Dans un travail en cours de publication, l'Auteur montre comment l'hypothèse d'une décomposition des vibrations lumineuses dans une molécule, suivant les trois axes principaux d'absorption, conduit à représenter les intensités lumineuses pour les diverses directions des vibrations incidentes par une formule simple, signalée par l'Auteur au début de ses recherches sur l'absorption (n° 21), et qui paraît satisfaire aux déterminations expérimentales. Pour une vibration de longueur d'onde déterminée, traversant l'unité d'épaisseur d'un cristal en restant parallèle à son orientation primitive, et faisant avec les axes principaux d'absorption les angles α, β, γ, l'intensité serait

$$i = (a \cos^2 \alpha + b \cos^2 \beta + c \cos^2 \gamma)^2,$$

a^2, b^2, c^2 étant les intensités observées suivant les trois axes d'absorption.

Les vérifications photométriques ont porté sur l'épidote, dont l'Auteur a dû faire à cette occasion une étude complète au point de vue des directions principales d'absorption anomales des diverses bandes (n° 27).

Récemment, M. Ramsay a publié sur ce même cristal, l'épidote, un travail donnant des mesures photométriques pour diverses directions du plan g_1. Ce travail contient des Tableaux pour huit directions du plan de symétrie et pour diverses régions du spectre. Les courbes qui résument les observations sont pour la plupart dissymétriques, et telles que le maximum et le minimum d'absorption ne correspondent pas à des directions rectangulaires.

Ces apparences s'expliquent facilement au moyen des considérations rappelées plus haut. La formule précitée reproduit la forme des courbes dont il vient d'être question; l'Auteur montre que, dans le cas où l'absorption est due à une bande unique, les directions du maximum et du minimum sont rectangulaires, ainsi qu'il l'a vérifié par expérience; mais, dans le cas

où deux spectres d'absorption, ayant des directions principales différentes, viennent se superposer sur la région du spectre étudiée, et c'est le cas des expériences de M. Ramsay, l'intensité observée est représentée par le produit de deux expressions analogues à la formule ci-dessus, dans lesquelles les constantes et les angles variables sont différents; la courbe des intensités donnée par la formule est dissymétrique, et les directions du maximum et du minimum ne sont plus rectangulaires.

Ces vérifications sont donc une confirmation nouvelle des résultats déduits de l'ensemble des recherches que nous venons d'analyser.

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME.

29. Sur le phénomène de la rupture d'un courant électrique près des pôles d'un aimant.

(*Journal de Physique*, t. IV, p. 206; 1875.)

Si l'on interrompt près des pôles d'un électro-aimant le courant électrique qui l'aimante, l'étincelle de l'extra-courant produit en cette circonstance est accompagnée d'une véritable détonation.

L'Auteur a étudié les diverses particularités du phénomène et a montré qu'on pouvait le reproduire dans tous ses détails, en substituant à l'action de l'aimant l'action mécanique d'un courant d'air. Cette expérience conduit à admettre que l'action du magnétisme intervient dans le phénomène pour diminuer la durée de la décharge d'induction, comme le fait un courant d'air, et à expliquer le bruit qui accompagne la rupture du circuit.

30. Nouvelle méthode pour mesurer l'intensité d'un courant électrique en unités absolues.

Procès-verbaux de la Conférence internationale pour la détermination des unités électriques. Deuxième session. — Séance du 1er mai 1884.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCVIII, p. 1253; 1884.)

Lorsqu'on se propose de faire une mesure dite *absolue*, c'est-à-dire de rapporter les mesures aux unités fondamentales de longueur, de masse et de temps, il est presque toujours nécessaire de déterminer les dimensions exactes des appareils. Les difficultés que présente cette opération contribuent pour une large part à limiter la précision des mesures. Pour obtenir l'intensité absolue d'un courant électrique, l'Auteur a proposé de mesurer la rotation magnétique à laquelle ce courant donne naissance dans des conditions particulièrement avantageuses où la connaissance des dimensions exactes de l'appareil n'est pas nécessaire.

L'Auteur a fait observer que *la somme des actions électromagnétiques*

exercées par une bobine parcourue par un courant électrique sur tous les points de son axe, s'étendant indéfiniment dans les deux sens, était indépendante des dimensions de la bobine et ne dépendait que du nombre des tours du fil et de l'intensité du courant.

Ce théorème, qui est une conséquence immédiate de cet autre théorème plus général que la variation de potentiel électromagnétique le long d'un contour fermé quelconque traversant un courant fermé d'intensité I est égale à $4\pi I$, s'applique à l'action produite par une bobine sur le plan de polarisation d'un rayon lumineux traversant un tube plein de liquide, disposé suivant l'axe de la bobine et dépassant suffisamment celle-ci de part et d'autre.

La rotation magnétique totale observée est le résultat d'une véritable intégration des actions électromagnétiques tout le long de l'axe. Dans ces conditions, si l'on désigne par R la rotation magnétique observée, par N le nombre des tours du fil de la bobine, et par α la rotation magnétique du liquide sous l'unité d'épaisseur, dans un champ magnétique égal à l'unité et pour les rayons lumineux dont on fait usage, l'intensité absolue i du courant est donnée par la formule très simple

$$i = \frac{R}{\alpha} \frac{1}{4\pi N}.$$

31. Mémoire sur les propriétés magnétiques développées par influence dans divers échantillons de nickel et de cobalt, comparées à celles du fer.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVII, p. 111; 1879. *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XVI.)

L'Auteur ayant pu réunir un grand nombre d'échantillons de nickel et de cobalt, de diverses provenances, a comparé leurs propriétés magnétiques à celles d'un échantillon de fer très pur; cette étude l'a conduit à employer des méthodes d'observation diverses.

Il a fait usage de la méthode des oscillations, d'une méthode différentielle nouvelle qui permet de faire rapidement des comparaisons entre deux barreaux dans des champs magnétiques variables, et enfin il a plus particulièrement employé la balance électromagnétique, avec des dispositions expérimentales spéciales.

Les expériences ont porté, pour le nickel, sur sept barreaux de diverses dimensions, comparés à des barreaux de fer doux, soit de mêmes dimensions,

soit de même poids. L'un de ces barreaux avait les dimensions d'un fil. De petites cartouches en papier contenant de la limaille de nickel, soit pure, soit mélangée de limaille de zinc, ont également été comparées à des cartouches identiques contenant le même poids de fer et de zinc. Pour le cobalt, on a comparé au fer un barreau et un fil. Les diverses sections des barreaux, par rapport à leurs longueurs, permettaient de les étudier dans des conditions de saturation magnétique très différentes.

Parmi les résultats obtenus, les plus importants sont les suivants :

Le rapport des effets temporaires développés, à la température ordinaire, par des influences magnétiques d'intensités croissantes, dans un des barreaux de nickel ou de cobalt, et dans un barreau de fer doux, de même longueur, de même poids ou de même section, est un nombre variable avec l'intensité magnétique à laquelle ces métaux sont soumis.

Ce rapport, voisin de l'unité pour des intensités très faibles, commence par décroître, passe par un minimum, puis augmente, atteint un maximum et, pour des intensités toujours croissantes, décroît jusqu'à une limite inférieure. Les variations dans le rapport considéré correspondent à des variations d'intensité d'autant plus faibles que la section des barreaux soumis à l'expérience est plus petite par rapport à leur longueur.

Le rapport de l'intensité du magnétisme temporaire développé dans les barreaux de nickel, de cobalt et de fer, à l'intensité magnétisante, est un nombre variable avec cette intensité. Ce rapport présente un maximum qui correspond à des intensités plus faibles pour le fer doux que pour le nickel et le cobalt; il décroît ensuite indéfiniment.

La saturation magnétique dans ces échantillons de nickel et de cobalt, ainsi que dans les fontes et les aciers, est atteinte avec des intensités magnétiques moindres que pour un barreau de fer doux, ayant les mêmes dimensions.

L'existence d'une force coercitive a pour effet de diminuer les actions magnétiques temporaires.

Un recuit prolongé rapproche l'une de l'autre les propriétés magnétiques des divers échantillons étudiés et celles du fer doux.

Des échantillons de nickel très peu denses, probablement poreux et ne présentant pas de force coercitive appréciable, ont donné lieu à des effets magnétiques très voisins de ceux du fer doux.

Pour des intensités magnétisantes infiniment faibles, dans des conditions très éloignées de la saturation, ou avec des substances dans lesquelles les particules magnétiques sont assez éloignées pour ne pas réagir les unes

sur les autres, les intensités magnétiques développées dans les molécules de nickel et de fer, à la température ordinaire, paraissent très voisines les unes des autres.

Le cobalt prend à saturation plus de magnétisme que le nickel.

32. Recherches sur le magnétisme spécifique de l'ozone.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCII, p. 348; 1879.)

Dans une première publication, en 1879, l'Auteur a montré que le magnétisme spécifique de l'ozone était notablement plus grand que celui de l'oxygène. Ce fait a été vérifié depuis par M. Schumeister (*Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenchaftlichen Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien*, 1881).

L'Auteur a repris cette étude au moyen d'un appareil entièrement en verre, placé entre les pôles d'un fort électro-aimant. Le magnétisme spécifique du gaz est mesuré par la répulsion d'un petit barreau de verre suspendu dans une sorte d'éprouvette où l'on fait arriver le mélange gazeux, et où l'on peut faire le vide. La répulsion du petit barreau de verre est équilibrée au moyen d'un fil d'or ou de platine que l'on tord en tournant tout l'appareil autour d'un axe vertical coïncidant avec le fil de suspension. Tout l'appareil est disposé, à cet effet, sur un support en cuivre muni d'un cercle divisé.

L'ozone ne peut être étudié que mélangé avec une plus ou moins grande proportion d'oxygène. Pour analyser ce mélange, on faisait passer un volume connu de celui-ci dans un barboteur contenant une dissolution d'iodure de potassium, et l'on dosait l'ozone par l'augmentation de poids du barboteur.

Ces recherches ont été interrompues par d'autres travaux; les résultats en seront publiés ultérieurement.

33. Note sur les propriétés magnétiques du fer nickelé de Sainte-Catherine (Brésil).

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIII, p. 794.)

Un minerai de fer natif, trouvé à Santa-Catarina (Brésil), présente une propriété physique très curieuse :

A l'état naturel, ce minéral est très peu attirable à l'aimant; mais, si l'on vient à le chauffer à la température rouge, il manifeste alors après son refroidissement des propriétés magnétiques très énergiques.

L'Auteur a d'abord mesuré les moments magnétiques de divers petits barreaux de cette substance, aimantés dans les mêmes conditions avant et après avoir été chauffés, et il a reconnu que, après avoir été portés à la température rouge, ces petits barreaux deviennent vingt et vingt-cinq fois plus magnétiques qu'à l'état naturel. Les nombres qui expriment le rapport des deux effets varient légèrement avec les dimensions des barreaux. Le magnétisme de la substance chauffée est identique à celui du fer doux.

Comme ces propriétés singulières paraissent liées à l'état cristallin du minéral et à sa richesse en nickel, l'Auteur s'est proposé de rechercher si du fer pur ou du nickel pur cristallisé à froid ne manifesteraient pas les mêmes phénomènes. Les expériences ont porté sur de petits barreaux de fer ou de nickel, déposés par la pile sur un petit fil de platine très fin. Le fer n'a présenté par le recuit que peu de changement, mais le nickel, cristallisé dans les conditions qui viennent d'être indiquées, a manifesté, après avoir été chauffé, une grande augmentation de ses propriétés magnétiques.

Cette étude montre que le fer natif de Sainte-Catherine a dû cristalliser à basse température, mais elle n'a pas permis de décider entre l'hypothèse d'une origine météorique de ce minéral et celle d'une formation terrestre, car la masse pourrait avoir été primitivement portée à une haute température, puis avoir lentement cristallisé avec le temps.

MÉTÉOROLOGIE.

MÉMOIRES PUBLIÉS EN COMMUN AVEC M. EDM. BECQUEREL.

32-42. Mémoires sur la température de l'air à la surface du sol et de la Terre jusqu'à 36^{m} de profondeur, ainsi que sur la température de deux sols, l'un dénudé, l'autre couvert de gazon.

Ces Mémoires sont publiés dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences;* des Extraits se trouvent dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* et dans les *Archives du Muséum d'Histoire naturelle :*

Année 1877, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXII, p. 1222;
Année 1878, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* t. LXXXIX, p. 207;
Année 1879, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* t. XC, p. 578;
Année 1880, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCII, p. 1253;
Année 1881, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* t. XCIV, p. 1147;
Année 1882, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* t. XCVI, p. 1107;
Années 1883 et 1884, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. C, p. 1486.

Les autres années sont en cours de publication.

Ces Mémoires contiennent la suite des observations météorologiques installées, il y a vingt-cinq ans, au Muséum d'Histoire naturelle, par A.-C. Becquerel, au moyen des méthodes thermo-électriques qu'il avait imaginées. Les appareils permettent de suivre plusieurs fois par jour les variations de température dans l'air jusqu'à 21^{m} au-dessus du sol, et dans la terre de 5^{m} en 5^{m} jusqu'à 36^{m} de profondeur.

Sous deux sols particuliers, l'un dénudé, l'autre gazonné, on observe la température de 0^{m},05 en 0^{m},05 jusqu'à 0^{m},60 de profondeur.

Les observations sont publiées annuellement et leur ensemble conduit, relativement à la propagation de la chaleur dans le sol, à des conclusions dont la certitude s'affermit avec chaque nouvelle année d'observation.

43. Sur le froid de décembre 1879 et son influence sur un sol couvert de neige.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXIX, p. 1011.)

Dans cette Note, les Auteurs ont étudié dans quelles conditions et avec quelle rapidité plus ou moins grande la gelée s'était propagée dans le sol couvert de neige. La présence du gazon sous la neige a empêché la gelée de pénétrer même à $0^m,05$ de profondeur, malgré la continuité du froid et un abaissement de température de l'air de $-23°$.

Les Auteurs ont également fait des observations sur la propagation de la chaleur à travers une épaisseur de $0^m,25$ de neige (*Comptes rendus*, t. XCII, p. 1255, et *Mémoires de l'Académie des Sciences*).

Il résulte de l'ensemble de ces observations que chaque couche du sol est soumise à l'influence de deux effets calorifiques : l'un dû aux variations de température de la surface provenant de causes diverses, notamment du rayonnement et de l'action des rayons solaires; l'autre dû à la chaleur des couches profondes, qui se propage par conductibilité et tend à maintenir la température constante à une même profondeur.

L'amplitude de l'oscillation thermométrique, qui est la conséquence de ces effets complexes, est d'autant moindre que la profondeur est plus grande.

WELLCOME LIBRARY INSTITUTE

15112 Paris. — Impr. Gauthier-Villars et Fils, quai des Grands-Augustins, 55.